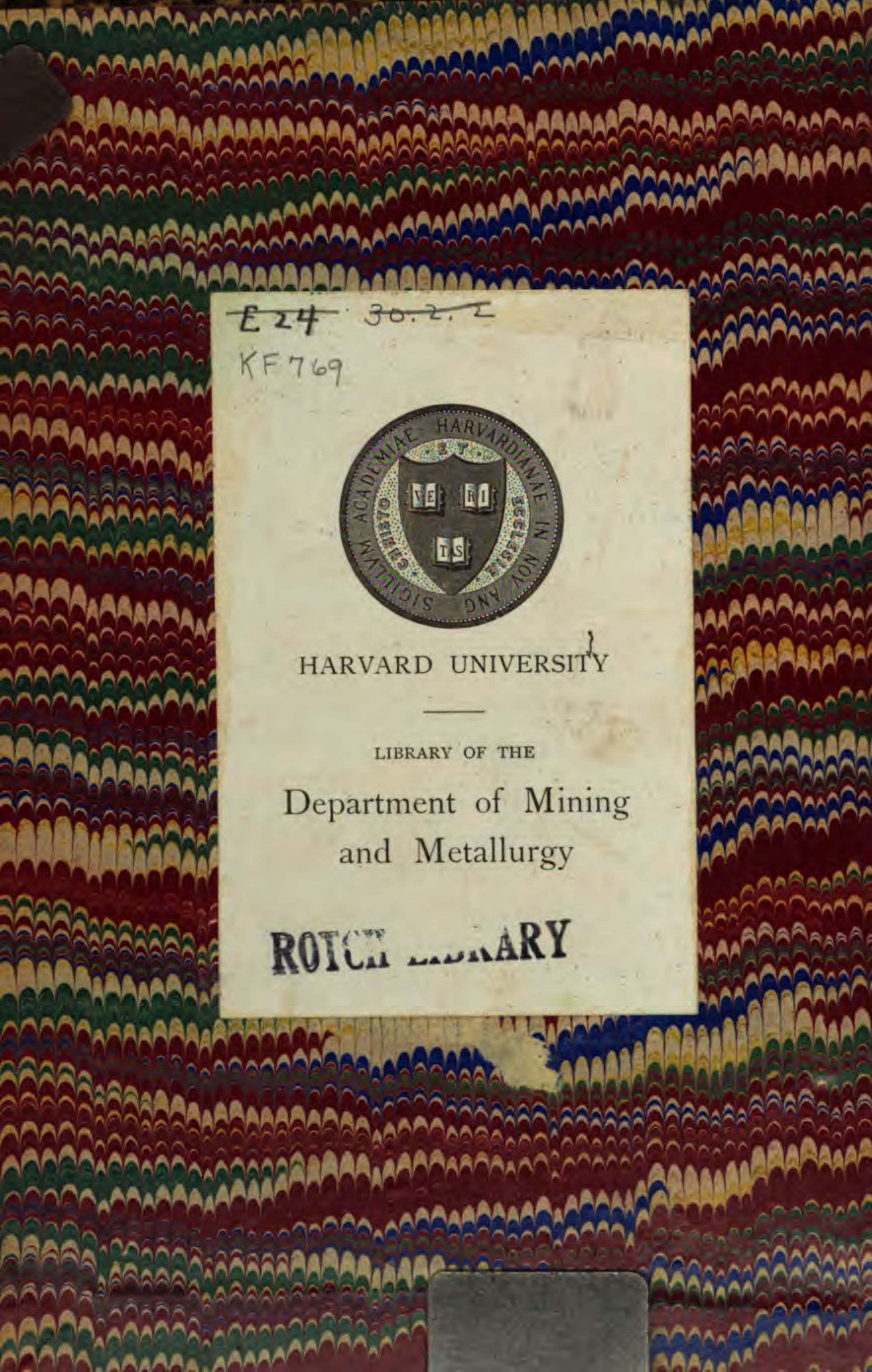
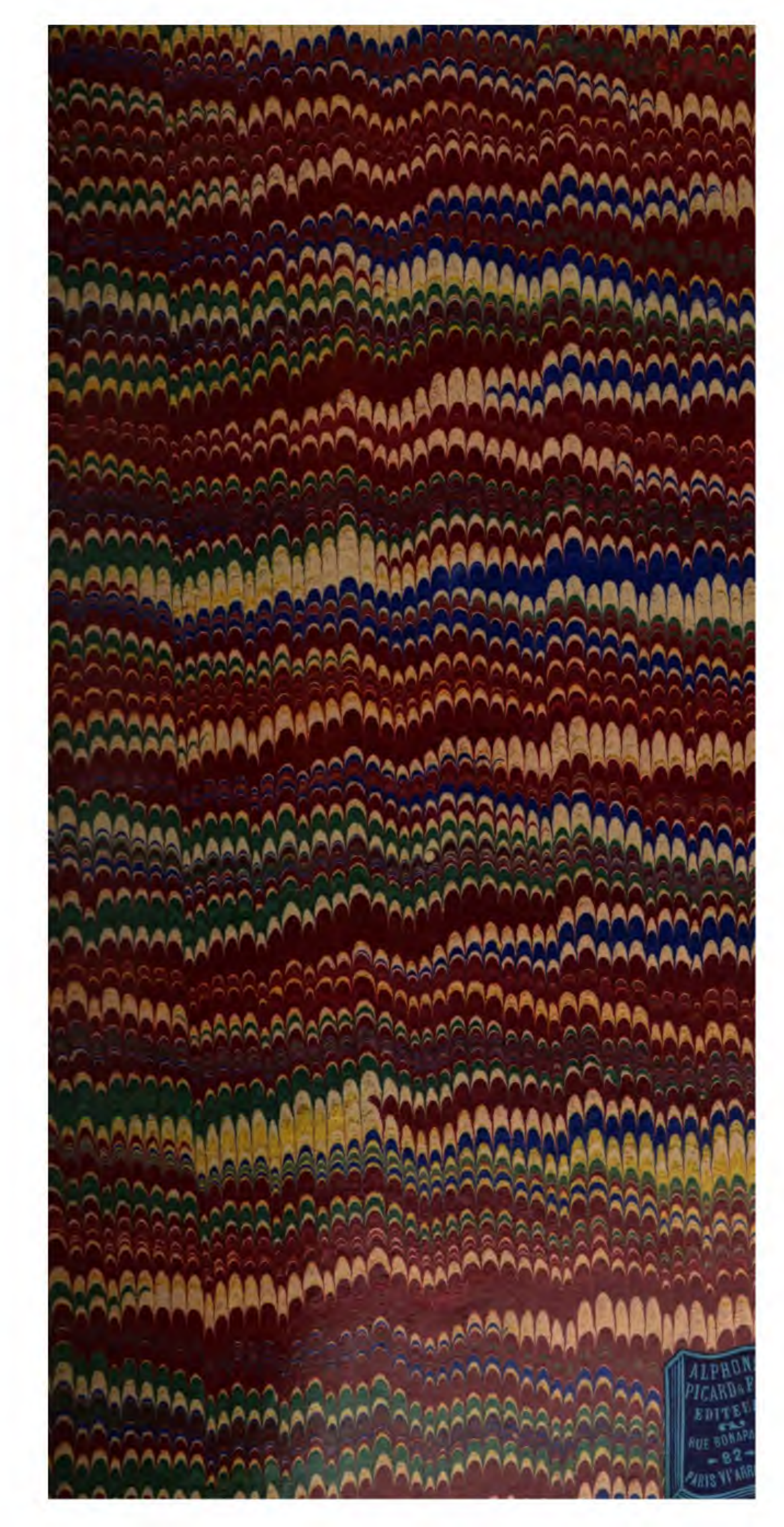

HN 2XXR 6
HARVARD ENGINEERING SCHOOL
LIBRARY OF MINING AND METALLURGY



E24 30.2.2
KF769
HARVARD UNIVERSITY
LIBRARY OF THE
Department of Mining
and Metallurgy


ALPHONS
PICARD & F
EDITEU
RUE BONAPA
82
PARIS VI ARR

COMBUSTIBLES
INDUSTRIELS

Houille, Pétrole, Lignite, Tourbe, Bois
Charbon de bois, Agglomérés, Coke

PAR

FÉLIX COLOMER
INGÉNIEUR CIVIL DES MINES
ANCIEN INGÉNIEUR EN CHEF DES MINES D'OSTRICOURT
INGÉNIEUR CONSULTANT EN MATIÈRE DE MINES

ET

CHARLES LORDIER
INGÉNIEUR CIVIL DES MINES
ANCIEN INSPECTEUR DU MATÉRIEL ET DE LA TRACTION A LA COMPAGNIE
DES CHEMINS DE FER DE L'OUEST

Seconde édition revue et augmentée

OUVRAGE HONORÉ D'UNE RÉCOMPENSE DE LA SOCIÉTÉ D'ENCOURAGEME[NT]
POUR L'INDUSTRIE NATIONALE

PARIS (VIe)
H. DUNOD ET E. PINAT, ÉDITEURS
49, Quai des Grands-Augustins, 49

1906

COMBUSTIBLES INDUSTRIELS

COMBUSTIBLES
INDUSTRIELS

Houille, Pétrole, Lignite, Tourbe, Bois
Charbon de bois, Agglomérés, Coke

PAR

FÉLIX COLOMER

INGÉNIEUR CIVIL DES MINES
ANCIEN INGÉNIEUR EN CHEF DES MINES D'OSTRICOURT
INGÉNIEUR CONSULTANT EN MATIÈRE DE MINES

ET

CHARLES LORDIER

INGÉNIEUR CIVIL DES MINES
ANCIEN INSPECTEUR DU MATÉRIEL ET DE LA TRACTION A LA COMPAGNIE
DES CHEMINS DE FER DE L'OUEST

Seconde édition revue et augmentée

OUVRAGE HONORÉ D'UNE RÉCOMPENSE DE LA SOCIÉTÉ D'ENCOURAGEMENT
POUR L'INDUSTRIE NATIONALE

PARIS (VI[e])

H. DUNOD ET E. PINAT, ÉDITEURS
49, Quai des Grands-Augustins, 49

1906

COMBUSTIBLES INDUSTRIELS

PREMIÈRE PARTIE

HOUILLE

CHAPITRE I

DÉFINITION ET CLASSIFICATION DE LA HOUILLE

Caractères physiques. — Couleur. — Cassure. — Dureté. — Cohésion. — Poids spécifique. — *Propriétés chimiques.* — Teneur en carbone. — Teneur en matières volatiles. — Teneur en soufre. — Teneur en phosphore. — Teneur en cendres et éléments chimiques des cendres. — Teneur en eau. — Combustion spontanée. — *Classification de la houille.* — Classification de Gruner. — Autres classifications. — Classification basée sur l'examen des empreintes végétales. — *Cannel coal.*

Caractères physiques. — Comme tout minerai, la houille se définit d'abord par ses caractères physiques, et ensuite par ses propriétés chimiques. Les caractères physiques principaux que nous examinerons successivement sont la couleur, la nature de la cassure, la dureté, la densité, la cohésion.

Couleur. — La houille est noire en général, mais elle présente toutes les gammes de couleur noire. Un œil exercé peut néanmoins caractériser les diverses qualités qui sont employées comme combustible.

C'est ainsi que la qualité de houille dite *anthracite* est aisément reconnaissable à une couleur plutôt grisâtre, se rapprochant un peu de la couleur des schistes charbonneux. Certains anthracites ont même une teinte gris fer, assez analogue à celle du *graphite* vulgairement appelé *mine de plomb.* On y remarque aussi des reflets jau-

nâtres, parfois irisés, tenant à la présence de la pyrite de fer, présence qui est assez fréquente.

Les *houilles grasses* ont des reflets d'un noir brillant qui est caractéristique. Elles sont plus noires que les anthracites.

Quant aux *charbons à gaz*, qui contiennent une forte proportion de matières volatiles, ils ont une couleur plutôt mate. Ils paraissent ainsi moins noirs que les précédents. La couleur de leur poussière tire quelquefois sur le brun.

Les différences sont ainsi fortement marquées pour les trois termes extrêmes que nous avons énumérés. Il est inutile de dire que pour les qualités intermédiaires des houilles les oppositions ne seront pas toujours aussi nettes.

Cassure. — La nature de la cassure varie avec les différentes variétés de houille et les catégories ainsi caractérisées seront, à peu de chose près, les mêmes que celles qui ont été décrites précédemment.

Dans les anthracites les morceaux se présentent avec des faces bien nettes, assez comparables aux clivages des cristaux. En cassant indéfiniment un anthracite, on n'obtiendra pas de parties lamelleuses, mais toujours des fragments ayant des faces nettement définies, et assez voisines quelquefois de la forme cubique. Les faces ne sont pas lisses, mais présentent une série de facettes minuscules qui par réfraction deviendront brillantes.

La cassure des charbons gras n'est plus aussi nette. Elle est compacte et les morceaux s'effritent volontiers. Quand les fragments restent gros, les faces ont une forme conchoïdale mieux caractérisée. Les reflets noirâtres paraissent d'autant plus vifs qu'ils existent sur toute la surface et non pas par points isolés comme pour l'anthracite.

Les charbons qui contiennent beaucoup de matières volatiles ont, comme l'anthracite, des faces à cassure bien définie, mais ces faces sont plutôt lamelleuses et lisses. On croirait à des dérivés d'une forme cristalline prismatique plutôt que d'une forme cubique. Certaines catégories sont même fibreuses comme du *bois fossile;* ces fibres correspondent à des lits de séparation suivant lesquels les blocs se détachent.

Très souvent, les lits qui existent plus ou moins définis dans toutes les variétés de houille, ne sont pas brillants comme le reste du banc ; ils sont mats et ont un aspect fibreux caractéristique. Les

lits mis à nu paraissent formés par des fibres longues de quelques millimètres seulement, qui les divisent en sorte de damier. Dans chaque carré du damier, les fibres sont parallèles, mais ce parallélisme ne se conserve pas d'un carré à l'autre. L'étude au microscope a fait reconnaître dans ces fibres des éléments d'Araucariées, de Calamites et de quelques autres végétaux. Les fibres ont une épaisseur variant depuis celle d'une feuille de papier jusqu'à 10 ou 12 millimètres, et semblent formées d'un charbon tendre de nature spéciale. Perpendiculairement aux lits de tassement, la masse solide et brillante est sillonnée de lignes mates parallèles, suivant lesquelles les morceaux se laissent facilement séparer au couteau. Souvent des morceaux, même de petite dimension, présentent assez de ces plans de soudure pour qu'il soit impossible d'isoler un fragment de houille parfaitement homogène de plus de 4 ou 5 millimètres d'épaisseur. Les houilles de cette espèce se rencontrent en Angleterre, en Silésie et en Saxe.

Dureté. — De même que pour la nature de la cassure, les anthracites et les charbons flambants sont voisins au point de vue de la dureté.

L'anthracite de Pennsylvanie est bien connu pour son extrême résistance qui fait sa grande qualité et légitime son emploi dans les hauts fourneaux. Une certaine dureté persiste jusque dans des qualités de charbons maigres, à condition toutefois qu'ils restent en place dans la mine, d'où le nom qui leur est donné parfois de charbons durs (*hard coal*). A l'air ils s'effritent, surtout s'ils contiennent du grisou ou de la pyrite de fer.

Les charbons gras sont moins durs. Toutefois leur dureté dépend de la nature de la sédimentation. Les charbons qui sont en strates plutôt schisteuses se cassent facilement. Ceux, au contraire, qui forment dans la mine une couche compacte sans lit bien marqué, ni sans *coupe*[1] verticale ou transversale, restent durs et difficiles à briser. Les charbons dits *demi-gras* sont presque toujours friables, et les meilleures sortes donnent en général une grande quantité de poussière.

Les charbons à gaz sont assez durs. Ils se présentent généralement en couches compactes rarement coupées par des lits schisteux. Ils sont pourtant moins durs que les anthracites.

1. *Coupe* est un terme de mineur synonyme de cassure.

Ce caractère de dureté n'est pas toujours aussi spécifique que les autres propriétés physiques pour les diverses variétés de houille.

Cohésion. — La cohésion est la qualité que possèdent les houilles de ne pas se briser en un nombre trop considérable de menus morceaux parfois inutilisables. Elle n'est pas caractéristique d'une catégorie maigre ou grasse de ces houilles. Elle dépend surtout de l'état moléculaire ou du mode de formation du combustible. Pour certains charbons *barrés*, c'est-à-dire mélangés de schistes, elle pourra être très grande, à cause de la présence de ces schistes. Pour d'autres charbons plus purs, elle sera moindre, si la nature de ces charbons est lamelleuse ou bien s'ils contiennent une certaine quantité de grisou.

On a trouvé que des houilles de natures très diverses pouvaient produire, par un frottement exercé dans des conditions identiques, une proportion de 35 à 88 0/0 de leur poids en menu. Du reste, on ne sera pas étonné de voir des houilles donner plus de la moitié de leur poids de menu, surtout pour certaines variétés qui se délitent par la simple action de l'air.

Quelques houilles, en se délitant ainsi, se réduisent complètement en poussière. Le phénomène est dû à la présence du sulfure de fer qui s'oxyde à l'état de sulfate, ou même se transforme en alun ferrugineux efflorescent.

Les essais de cohésion d'un charbon se font dans un appareil analogue à celui qui sera décrit pour les briquettes (Voir page 365). Toutefois ces essais de cohésion n'ont pas pour les houilles l'importance qu'ils peuvent acquérir pour la réception des agglomérés.

Les anthracites ont toujours de la cohésion (50 0/0). Il en est de même de quelques charbons à gaz. On trouve aussi des sortes de charbon gras qui résistent bien aux manipulations, qui ne se désagrègent pas à l'état de menu et qui auront 35 0/0 de cohésion.

Poids spécifique. — Le poids spécifique est un caractère assez sûr pour reconnaître *a priori* et d'une manière très approximative les diverses sortes de charbon.

L'anthracite est lourd. Son poids spécifique atteint le chiffre de 1,40, parfois 1,75. En soupesant à la main un gros fragment, on reconnaîtra aisément un anthracite d'un autre charbon.

Le charbon gras a une densité moyenne de 1,30. Le poids variera bien entendu suivant les impuretés contenues; il s'agit ici d'une houille peu cendreuse et exempte d'inclusions schisteuses.

Le charbon à gaz a une densité de 1,25.

Il est intéressant de connaître l'espace qu'occupe un poids donné de houille, le volume variant avec la nature du combustible, suivant qu'il est en gros morceaux ou à l'état de menu. Ce volume a une grande importance pour l'arrimage de la houille à bord des navires, qui en transportent soit comme chargement soit pour l'alimentation des foyers de leurs chaudières. Le poids spécifique d'une houille indique bien son poids par mètre cube, mais il faut supposer que les morceaux ne laissent entre eux aucun vide, ce qui n'est jamais le cas. Aussi est-il bon de déterminer directement le poids de diverses houilles par mètre cube empilé, c'est-à-dire en tenant compte des vides. On trouvera, suivant les cas, des poids compris entre 750 et 1.200 kilogrammes par mètre cube pour les charbons gras, tandis que la considération de la seule densité donnerait, en négligeant les vides, des chiffres de 1.235 à 1.595 kilogrammes.

Dans la pratique, les poids au mètre cube seront plutôt indiqués que les poids spécifiques théoriques. Le charbon à gaz pèse 900 kilogrammes le mètre cube contre 1.200 kilogrammes pour le charbon gras.

On détermine expérimentalement de la manière suivante le poids spécifique d'une houille.

On prend un flacon muni d'un bouchon que traverse un thermomètre et contenant à la température de 15 degrés un poids d'eau qui a été calculé avec soin. Dans ce flacon, on met 2 ou 3 grammes de combustible exactement pesé. On ajoute progressivement de l'eau, en laissant au combustible le temps de s'imbiber et surtout de bien perdre tout l'air emprisonné dans ses pores. Cette dernière condition est des plus nécessaire pour éviter toute cause d'erreur. On remplit alors le flacon, puis on pèse.

Le poids spécifique est donné par la formule :

$$\pi = \frac{P}{P + F - F'}$$

où P est le poids de l'échantillon dans l'air, F le poids du flacon rempli d'eau, F′ le poids du flacon avec l'eau et l'échantillon.

Nature de la flamme. — Les charbons à gaz produisent une flamme longue et fuligineuse. Cette flamme est moins longue et ne donne plus autant de fumée, quand les houilles sont grasses. Les fragments de combustible s'agglomèrent au feu. Avec les charbons maigres et les anthracites, la flamme est très courte ; elle présente une coloration bleue très caractéristique, due en partie à la proportion de soufre que contiennent toujours ces charbons.

Tous ces caractères physiques permettent ainsi de classer les houilles suivant trois types nettement distincts : anthracite, charbon gras et charbon à gaz. Nous allons retrouver les éléments d'une classification analogue en examinant quelques-unes des propriétés chimiques de la houille.

PROPRIÉTÉS CHIMIQUES. — Les principales propriétés chimiques d'une houille sont la teneur en carbone et la teneur en matières volatiles qui en dérive à peu près directement. Pour les emplois dans les foyers, il faudra en outre connaître la quantité et la nature des cendres : phosphore, soufre, fer, impuretés de toute nature. Ce sont ces divers points que nous allons successivement examiner.

Teneur en carbone. — La teneur en carbone est celle qui différencie principalement les qualités de houille.

Cette teneur oscille entre 75 0/0 et 90 0/0, souvent même 95 0/0.

Les houilles sèches à longue flamme, appelées aussi houilles flambantes ou flénus secs, contiennent 70 à 80 0/0 de carbone, en moyenne 77,5 0/0.

Les houilles grasses à longue flamme ou flénus gras, souvent appelées simplement charbons à gaz, renferment 80 à 85 0/0 de carbone, en moyenne 82 0/0.

Les houilles grasses, dites aussi houilles maréchales ou charbons de forge, oscillent entre 84 à 89 0/0 de carbone, en moyenne 86,5 0/0.

Les houilles grasses à courte flamme ou houilles à coke contiennent de 88 à 91 0/0 de carbone.

Les houilles maigres à courte flamme ou houilles anthraciteuses renferment 90 à 93 0/0 de carbone.

Enfin, les anthracites peuvent contenir 93 et 95 0/0 de carbone.

Teneur en matières volatiles. — Par matières volatiles, il faut entendre non seulement les gaz (hydrogène, azote, oxygène) mélangés à la houille, mais aussi le carbone volatil, c'est-à-dire les goudrons, les hydrocarbures de toute nature et les matières ammoniacales qui se dégagent de la houille, lors de sa combustion.

Toutefois on fait abstraction, en général, de la variation de composition des matières goudronneuses ou ammoniacales, et l'on ne prend comme spécifique que la proportion des gaz (hydrogène, azote, oxygène) dans les diverses houilles. Le rapport notamment entre l'hydrogène et la somme des teneurs en oxygène et azote est un élément caractéristique.

Dans les houilles sèches à longue flamme, la proportion d'hydrogène étant de 5,5 et la somme des quantités d'oxygène et d'azote

de 17, la valeur du rapport $\frac{O + Az}{H}$ est comprise entre 4 et 3.

Les houilles grasses à longue flamme contiennent 5,5 d'hydrogène et 12,5 d'oxygène et azote, de sorte que **la** valeur **du rapport** $\frac{O + Az}{H}$ est comprise entre 3 et 2.

Les houilles maréchales renferment 5 0/0 d'hydrogène, 8,5 0/0 d'oxygène et d'azote; le rapport $\frac{O + Az}{H}$ se trouve compris entre 2 et 1.

Les houilles à coke ne contiennent que 5,5 à 4,5 0/0 d'hydrogène et 6,5 à 4,5 d'oxygène et d'azote, de sorte que le rapport $\frac{O + Az}{H}$ est voisin de l'unité.

Dans les houilles maigres, les quantités d'hydrogène et d'oxygène pris avec l'azote étant respectivement de 4,5 à 4 0/0 ou de 5,5 à 3 0/0, le rapport est, en général, inférieur à l'unité.

Enfin, pour les anthracites, l'hydrogène constitue 4 à 2 parties de la composition élémentaire. L'oxygène et l'azote forment 3 parties. **Le rapport** $\frac{O + Az}{H}$ **a parfois une valeur voisine de 0,50.**

Teneur en soufre. — La proportion du soufre contenu dans la houille ne doit pas être trop considérable. Quand elle dépasse une certaine valeur, il y aura parfois lieu de rejeter la houille comme combustible industriel.

Le soufre proviendra soit des pyrites mélangées à la houille, soit de sulfates, du gypse surtout, soit de corps organiques intimement liés à la formation charbonneuse. L'influence de ce dernier élément est assez considérable, car la teneur en soufre des plantes qui ont contribué à la formation des dépôts de houille était beaucoup plus élevée que celle des végétaux actuels.

La pyrite existe soit en plaquettes visibles à l'œil nu, soit en particules disséminées au milieu du charbon et absolument invisibles; ces particules se trouvent surtout suivant les génératrices verticales de la couche. Dans le premier cas, le lavage emportera une partie de la pyrite avec les cendres. Dans le second cas, il faudra pousser très loin le classement avant lavage de manière à ne traiter que des morceaux de même calibre et de très faible grosseur, et encore ne sera-t-on pas certain d'expulser complètement la pyrite.

La teneur en soufre est fréquemment de 2 0/0. Si elle augmente et

devient voisine de 3 0/0, le combustible ne sera plus utilisable, surtout pour la transformation en coke métallurgique. Comme on le verra plus loin, l'opération de la cokéification n'enlève pas, en effet, la majeure partie du soufre. En outre, un charbon trop sulfureux attaque les grilles des chaudières.

Enfin le soufre donne lieu, lors de la combustion de la houille, à un dégagement d'hydrogène sulfuré ou d'acide sulfureux nuisible à la santé des chauffeurs.

Teneur en phosphore. — Le phosphore contenu dans le charbon provient, d'après M. l'inspecteur général des mines Carnot[1], des spores et grains de pollen des matières végétales décomposées : cryptogames, fougères et cordaïtes, ayant contribué à la formation de la houille. Ces spores sont facilement visibles au microscope, après une oxydation de la houille par l'acide azotique ou par le chlorate de potasse (Voir page 11).

M. Carnot a essayé d'établir un rapport entre la teneur en phosphore et la nature des plantes qui ont formé le charbon. Il n'a pas trouvé de différences notables dans un même gisement, mais les charbons qui montrent le plus grand nombre de spores, tels que les *Cannel coals* (Voir page 19), sont ceux qui renferment le plus de phosphore.

D'après M. Rossigneux, on a comparé aux usines de Denain les teneurs en matières volatiles et en phosphore des différents charbons du bassin du Nord. Ces recherches n'ont abouti à aucun résultat. A Anzin, la teneur en phosphore varie dans le rapport de 1 à 6 pour des couches différentes. Les charbons demi-gras contiennent moitié moins de phosphore que les qualités grasses. A Aniche, l'analyse a donné 0,70 de phosphore. Un charbon de Newcastle ne contenait que 0,04 à 0,06 de phosphore. La moyenne dans les bassins du Midi et du Centre de la France est 0,12 0/0.

Le rapport de la teneur en phosphore à la teneur en cendres est plus constant, parce que le phosphore existe toujours dans ces cendres à l'état de phosphates. On remarque aisément qu'il y a proportionnalité entre les teneurs en phosphore et les quantités de cendres.

Teneur en cendres et éléments chimiques des cendres. — Les principaux éléments qui constituent les cendres de la houille sont l'oxyde de fer (de 1,30, à 74,02 0/0), l'alumine (de 0,00 à 42,75 0/0), la

1. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences*, année 1884.

chaux (de 1,08 à 19,22), la silice (de 1,70 à 76,00). On ne trouve qu'en petites quantités, ou seulement dans certaines houilles : le chlore (de 0 à 9,57), la magnésie (de 0,25 à 5,03 0/0), la potasse (de 0 à 2,25 0/0), la soude (de 0 à 0,43 0/0). Enfin, parmi les principes que peuvent contenir exceptionnellement les cendres, on doit ranger : l'acide titanique (7,01 0/0), le plomb, le zinc, le cadmium, le nickel, l'arsenic et l'antimoine.

Dans des anthracites exploités au Pérou, on trouve en certaine quantité du vanadium. Étant donnée la valeur marchande de ce métal, on a pu songer à exploiter les mines, quelque éloignées qu'elles puissent être de moyens de transport.

Toutes ces matières ont pénétré dans la houille à mesure qu'elle se formait. L'alumine et la silice dépendent de la proportion de matières minérales que les courants charriaient avec les débris végétaux vers les bassins de dépôt. Quant à la présence du fer, elle s'explique comme suit. En raison de l'humidité considérable du sol à l'époque houillère, des acides faibles, tels que les acides ulmique, humique et carbonique étaient en dissolution. Ces acides ont formé des sels avec l'oxyde de fer, et c'est pourquoi on trouve surtout le fer à l'état de carbonate dans la houille. Toutefois il existe aussi à l'état d'oxyde et de silicate.

Le tableau suivant indique dans quelles proportions les principales matières constituant les cendres se rencontrent dans diverses catégories de houille.

CHARBONNAGES	SILICE	ALUMINE	CHAUX	MAGNÉSIE	POTASSE	SOUDE	FER
La Grand-Combe	51,5	24,4	7,8	2,0	2,6	0,6	10,4
Trélys	49,0	29,0	8,2	2,5	2,35	0,5	7,3
Molières	48,0	26,0	14,6	3,70	—	—	7,3
Aniche	48,5	33,7	2,0	—	—	—	7,9
Aubin	50,0	32,0	5,0	—	—	—	8,0
Dowlais	24,1	20,8	9,4	9,7	—	—	16,0
Dowlais	39,6	39,2	1,8	2,6	—	—	7,5
Newcastle	44,6	26,4	3,6	0,6	—	—	16,0
Newcastle	29,5	22,0	10,6	1,0	—	—	17,8
Pennsylvanie	61,0	35,0	1,5	0,1	—	—	1,2
Pennsylvanie	34,0	34,1	1,5	0,1	—	—	21,0
Pennsylvanie	28,4	17,0	11,2	—	—	—	27,0
Durham	42,1	28,0	6,0	0,2	—	—	12,0

Toutes ces matières ne doivent pas dépasser 4 à 8 0/0 du poids de la houille. On aura ainsi les meilleurs charbons. Les charbons de bonne qualité renferment de 8 à 12 0/0 de cendres ; les charbons médiocres en donnent de 12 à 18 0/0 et même plus.

On vend parfois, sous le nom d'*intermédiaires*, des charbons contenant 25 à 30 0/0 de cendres. Ce sont des matières provenant du lavage des charbons et formant transition entre les charbons purs et les schistes purs. Certaines de ces matières proviennent aussi d'un relavage des produits d'un lavoir. Pour être employés comme combustibles, ces intermédiaires doivent donner des cendres infusibles; on les brûlera dans des foyers soufflés (Voir page 159). Mais, si la quantité de cendres atteignait 50 0/0, il faudrait un soufflage trop énergique, et des produits de cette nature ne seraient plus des combustibles.

Les cendres ne doivent pas seulement être en faible quantité dans les houilles; elles doivent aussi présenter la propriété d'être infusibles. Si un charbon donne des cendres trop aisément fusibles, il se formera des mâchefers qui viendront s'étaler sur les grilles des foyers, obstruant les entrées d'air et nuisant par conséquent au tirage.

Le degré de fusibilité dépend surtout du rapport existant, d'une part, entre la proportion de la silice et celle de l'alumine, et, d'autre part, entre l'alumine et les autres bases : oxydes de fer, chaux, magnésie et alcalis. L'infusibilité croît avec la proportion d'alumine; elle diminue, au contraire, lorsque l'oxyde de fer, la chaux et la magnésie existent en quantités trop considérables. Ceci n'est vrai, toutefois, que jusqu'à une certaine limite : c'est ainsi qu'une cendre formée principalement d'oxyde de fer sera tout aussi infusible qu'une autre constituée par un silicate d'alumine.

Des essais devront être faits par les industriels pour déterminer la fusibilité des cendres des combustibles qui leur sont vendus. Ces essais sont pratiqués en chauffant simultanément, au four à gaz, de petits cylindres moulés avec les cendres à essayer et avec les cendres d'un charbon type.

Teneur en eau. — La teneur en eau est assez variable et dépend des conditions climatériques. Cette eau est, en effet, presque exclusivement de l'eau hygroscopique et il est assez rare de trouver dans les houilles comme dans les lignites une forte proportion d'eau de constitution.

Chimiquement pure la houille ne renferme pas plus de 2 ou 3 0/0 d'eau.

A l'air, la houille absorbe environ 3 0/0 d'eau. Mouillée, ou ayant reçu pendant longtemps l'action de la pluie, surtout quand elle est poreuse, elle peut renfermer jusqu'à 10 ou même 50 0/0 d'eau, mais elle perd aisément cet excès d'humidité par un simple égouttage.

Combustion spontanée. — La combustion spontanée des stocks de certaines houilles est bien connue des industriels; cette combustion provient d'une altération chimique à l'air.

Dans cette altération à l'air il y a dégagement de gaz, tels que grisou, azote ou acide carbonique. La perte de poids qui en résulte atteint jusqu'à 59 0/0 pour certaines houilles ayant séjourné neuf mois sur le carreau de la mine.

D'autre part la houille absorbe l'oxygène de l'air. Un charbon menu peut ainsi, suivant sa qualité, absorber jusqu'à 5 0/0 de son poids en oxygène. Cette absorption varie avec la nature des combustibles.

Une houille grasse a augmenté en huit jours de 10 0/0 en poids. Les houilles maigres absorbent moins vite l'oxygène. Un anthracite de Pennsylvanie n'augmente que de 2 0/0 en un mois.

Cette oxydation a surtout lieu pour des menus placés en tas; les morceaux isolés ne changent pas de composition. Au contraire, sous l'action d'une accumulation trop grande, des fines peuvent tripler de poids par l'oxydation, tandis qu'elles perdent de leur pouvoir calorifique. Sous l'influence de cette oxydation, il y a échauffement, puis, de proche en proche, inflammation du combustible.

On avait longtemps attribué cette combustion spontanée à l'influence des pyrites contenues dans la houille. Or, certains anthracites qui sont souvent très pyriteux ne s'enflamment pas. L'absorption d'oxygène est considérée aujourd'hui comme l'explication la plus plausible du phénomène.

Il se produit une oxydation analogue à celle qu'on produit chimiquement au moyen d'un agent oxydant.

L'acide azotique seul, ou, mieux encore, le mélange d'acide azotique et de chlorate de potasse, exercent, en effet, sur les charbons des réactions oxydantes étudiées en détail par M. Berthelot[1] et qui les transforment en acide ulmique plus ou moins rapidement.

On recommande l'emploi d'une dissolution saturée de chlorate de potasse et d'acide azotique ayant 1,47 comme poids spécifique; l'attaque se fait à froid et plus ou moins rapidement suivant la nature des combustibles.

On traite ensuite par la potasse, ou par l'ammoniaque, la matière ainsi attaquée, on dissout l'acide ulmique à l'état d'ulmate alcalin et

1. *Annales de Chimie et de Physique*, IV[e] série, t. XIX, p. 392.

l'on met en liberté de minces débris de membranes végétales, presque toujours des cuticules de feuilles ou de rameaux.

On a remarqué, en effet, que sous l'effet de l'oxydation, il se formait de l'acide ulmique dans les houilles ; ces houilles se rapprochent alors de la composition des lignites ou des tourbes. Ainsi s'explique le phénomène dont nous parlerons plus loin (Voir page 459) et suivant lequel des houilles à coke, exposées longtemps à l'air, ne sont plus cokéfiantes.

Nous renvoyons d'ailleurs pour tout ce qui traite de la combustion spontanée à la savante étude de M. Fayol [1], à laquelle sont empruntées ces conclusions.

CLASSIFICATION DE LA HOUILLE. — On a proposé pour les différentes catégories de houille divers systèmes de classification. Ces systèmes sont basés, soit sur la nature du coke obtenu, soit sur la proportion des matières volatiles. On fait aussi des distinctions d'un ordre purement théorique, basées sur la nature des empreintes végétales visibles dans la couche elle-même ou bien au toit et au mur de cette couche.

Les anthracites pauvres en matières volatiles ne donnent pas de coke aggloméré. Quand le charbon n'est pas encore assez gras, c'est-à-dire quand il ne contient pas suffisamment de matières volatiles, le coke n'a pas assez de cohésion. De même, un combustible par trop gazeux produit, soit un coke boursouflé impropre aux usages métallurgiques, soit un coke léger ou pulvérulent qui sera également inutilisable.

La classification basée sur la nature du coke est la suivante, selon les dénominations les plus usuelles en France :

Anthracite et charbon maigre......	Pas de coke.
Charbon quart-gras...............	Coke fritté.
Charbon demi-gras...............	Coke sans cohésion.
Charbon trois quarts gras ou à coke.	Coke par excellence.
Charbon gras ou de forge.........	Coke bien aggloméré.
Charbon gras à longue flamme....	Coke boursouflé.
Houille sèche à longue flamme....	Coke léger et pulvérulent.

Une autre classification adoptée en Angleterre est la suivante :

1. *Bulletin de la Société de l'Industrie minérale*, année 1879.

1° Houille sèche (*splint coal*) à longue flamme, donnant 50 à 60 0/0 de coke en poussière ;

2° Houille à gaz (*gas coal*) de nature bitumineuse à longue flamme, donnant 60 à 70 0/0 de coke aggloméré mais très fissuré ;

3° Houille maréchale (*smithy coal*), ou houille grasse à longue flamme, donnant 68 à 75 0/0 de coke aggloméré compact ;

4° Houille collante (*caking coal*) à courte flamme, donnant 75 à 82 0/0 de coke aggloméré compact ;

5° Anthracite.

Les autres classifications plus nombreuses sont basées sur la teneur en matières volatiles. Nous allons successivement les examiner.

Classification de Gruner. — Une des plus anciennes classifications est celle qu'a donnée Gruner dans son *Traité de Métallurgie*. C'est certainement la plus scientifique, et elle est aussi suffisamment industrielle. La houille est partagée en six catégories qui sont les suivantes, du haut en bas de l'échelle :

1° Houilles sèches à longue flamme, dites aussi houilles flambantes ou flénus secs ;

2° Houilles grasses à longue flamme, dites aussi flénus gras ou charbons à gaz ;

3° Houilles grasses proprement dites, appelées souvent houilles maréchales ou charbons de forge ;

4° Houilles grasses à courte flamme, ou charbons à coke ;

5° Houilles maigres à courte flamme ou houilles anthraciteuses ;

6° Anthracites.

Cette classification est scientifique en ce sens qu'elle est exactement d'accord avec la formation géologique de la houille. En effet, les houilles les plus anciennes sont généralement les plus maigres. On peut constater dans un même bassin houiller que la teneur en matières volatiles est d'autant moindre que la couche considérée est plus profonde et appartient à une période plus ancienne de formation.

La classification de Gruner se complète et se justifie par le tableau suivant qui donne la composition chimique de chacune des catégories de houilles.

Nature	Composition chimique abstraction faite des cendres et de l'eau hygrométrique C	H	O et Az	Hydrogène utilisable	Eau hygrométrique	Cendres	Proportion de coke	Proportion de matières volatiles	Nature et aspect du coke
1° Houille sèche à longue flamme.	77,5	5,5	17,0	3,38	2,4	2,15	55 à 60	45 à 40	Pulvérulent ou légèrement fritté.
2° Houille grasse à longue flamme ou charbon à gaz.	82,0	5,5	12,5	3,91	2,4	2,15	60 à 68	42 à 32	Complètement aggloméré, et le plus souvent fondu.
3° Houille grasse proprement dite ou charbon de forge.	86,5	5,0	8,5	3,94	2,4	2,15	68 à 74	32 à 26	Fondu, et plus ou moins boursouflé.
4° Houille grasse à courte flamme ou charbon à coke.	89,5	4,5	6,0	3,75	2,4	2,15	74 à 82	26 à 18	Fondu compact.
5° Houille maigre ou anthraciteuse.	92,0	3,0	5,0	2,37	2,4	2,15	82 à 90	18 à 10	Légèrement fritté, le plus souvent pulvérulent.
6° Anthracite.	94,0	2,0	4,0	1,80	2,4	2,15	90 à 92	10 à 8	Pulvérulent, décrépite souvent.

Autres classifications. — Divers autres systèmes de classification des houilles ont été proposés.

Nous citerons d'abord celui qu'admet l'Administration française des Mines et qui comprend les cinq types suivants :

1° Houille sèche à longue flamme ;

2° Houille grasse à longue flamme ;

3° Houille grasse maréchale ;

4° Houille maigre à courte flamme ;

5° Anthracite.

Dans le bassin du Nord et du Pas-de-Calais, en France, et dans les charbonnages belges, on adopte une classification à quatre termes, ainsi qu'il suit :

1° Charbons gras, tenant de 20 à 42 0/0 de matières volatiles ;

2° Charbons demi-gras, tenant de 12 à 20 0/0 de matières volatiles;

3° Charbons quart-gras, renfermant de 10 à 12 0/0 de matières volatiles;

4° Charbons maigres ou anthraciteux avec une teneur de 6 à 10 0/0 de matières volatiles.

En Belgique on distingue quatre catégories :

1° Houille sèche à grande flamme ou fiénu;

2° Houille grasse;

3° Houille demi-grasse;

4° Houille maigre.

Toutefois, on a tendance à adopter une division qui est plus complète et qui se rapproche de celle de Gruner, ainsi que le montre le tableau suivant :

Désignation des charbons	Matières volatiles
Anthracite pur	4 à 7 0/0
Charbon anthraciteux ou maigre	7 à 10
Charbon quart-gras	10 à 14
Charbon demi-gras	14 à 18
Charbon trois quarts gras	18 à 24
Charbon gras	24 à 32
Charbon gras à longue flamme	32 à 40
Houille sèche à longue flamme	40 à 48

Une subdivision est même faite encore en petit demi-gras et fort demi-gras.

En Angleterre, il n'y a que trois termes de division, qui sont les suivants :

1° Charbons bitumineux (charbons à gaz et charbons domestiques);

2° Charbons à vapeur;

3° Anthracites.

Les charbons bitumineux, sont principalement employés pour les usages domestiques et pour la fabrication du coke. Ils se divisent en charbons non collants (*not caking*) et en charbons collants (*caking*). Ces derniers sont ceux qui conviennent surtout à la fabrication du coke.

Les charbons à vapeur (*steam coal*) se différencient des précédents par l'avantage qu'ils présentent de dégager peu de fumée.

Les anthracites sont les charbons les plus riches en carbone. Ils sont presque entièrement privés de principes volatils pyrogènes.

Le tableau suivant donne d'ailleurs la composition élémentaire de quelques échantillons de ces charbons.

NATURE	PROVENANCE	POIDS SPÉCIFIQUE	CARBONE	HYDROGÈNE	OXYGÈNE	AZOTE	SOUFRE	CENDRES	EAU	COKE
Bitumineux.	Wolverhampton (South Staffordshire)..	1,278	78,57	5,29	12,88	1,84	0,39	1,03	11,29	57,21
id.	Northumberland	1,276	81,41	5,83	7,90	2,05	0,74	2,07	1,35	66,70
id.	Aberdare (South Wales).............	—	85,74	4,54	3,57	—	0,81	4,64	0,70	76,10
A vapeur....	Merthyr (South Wales)..............	—	86,80	4,25	3,06	—	0,83	4,40	0,66	84,42
id.......	Llwynypia (South Wales)............	1,310	90,55	4,14	2,35	1,26	0,45	0,67	0,58	85,68
Anthracite..	South Wales........................	1,392	90,39	3,28	2,98	0,83	0,91	1,61	2,00	—
id. ..	South Wales, près Swansea..........	1,348	92,56	3,33	2,53	—	—	1,58	—	—

En Amérique il n'y a que deux divisions : les anthracites et les charbons bitumineux.

Les classifications varient ainsi dans chaque pays. Toutefois, on peut trouver des termes communs de comparaison et le tableau suivant donne la correspondance pour quelques appellations spéciales de combustibles en France, Allemagne, Angleterre et Belgique.

CLASSIFICATION DE GRUNER	APPELLATIONS COMMERCIALES EN			
	FRANCE	ALLEMAGNE	ANGLETERRE	BELGIQUE
Houilles sèches à longue flamme.	Houilles flambantes..	Sandkohle ou Magerkohle. .... Flammkohle.	Splint-coal...	Flénus secs.
Houilles grasses à longue flamme.	Charbons à gaz......	Sinterkohle	Cherry-coal..	Flénus gras ou Mons.
Houilles grasses proprement dites	Charbons de forge... Houilles maréchales.	Backkohle, Fettkohle........	Cocking-coal.	
Houilles grasses à courte flamme.	Charbons à coke....			
Houilles demi-grasses et maigres.	Charbons de foyer...	....	Steam-coal...	Charbons durs ou Charleroi.
Anthracites..................	id.	Anthracit, Magerkohle........	Swansea.....	

Classification basée sur l'examen des empreintes végétales. — L'observation des plantes qui se trouvent soit dans la houille, soit plutôt au mur et au toit des couches permet de distinguer quelques variétés de houille, telles que les anthracites, les bogheads et les cannel coals. Elle permettra surtout de différencier de la houille le lignite qui peut quelquefois lui ressembler.

M. Geinitz, en Allemagne, avait reconnu, en étudiant les divers bassins européens, l'existence de cinq flores successives qu'il réduisit plus tard à trois.

La plus ancienne est caractérisée par les Lycopodiacées.

Dans la flore moyenne dominent les Sigillaires, que suivent de près les Calamites.

Enfin la dernière flore comprend les Fougères et quelques Annulariées.

C'est à M. Grand'Eury, en France, que revient le mérite d'avoir précisé les divisions de la flore carbonifère et d'en avoir fait la base d'une classification détaillée.

Il a établi trois étages géologiques dans le terrain houiller :

1° L'étage dinantien ou du culm ;

2° L'étage westphalien ou houiller inférieur ;

3° L'étage stéphanien ou houiller supérieur.

La flore de l'étage dinantien se fait remarquer par la prédominance des Lépidodendrées et des Sphénoptéridées. Les Calamites y sont rares ; les Annulariées y manquent totalement.

Dans le terrain westphalien ce sont les fougères du genre Sphenopteris et Nevropteris qui constituent, avec les Sigillariées et les Lépidodendrées, le fond de la végétation. Les Calamites sont fréquents. On voit apparaître les Astérophyllites, les Annulariées, les Sphénophyllées, les Cordaïtées.

La flore stéphanienne est caractérisée par l'abondance des Pécoptéridées et des Cordaïtées. Les Lépidodendrées sont rares.

Chacun des étages a été divisé en plusieurs zones et nous empruntons à M. de Lapparent[1] le tableau de la répartition des principaux gisements connus entre les divers horizons de la flore carbonifère, chacun des horizons étant désigné par le fossile le plus caractéristique.

1. De Lapparent, *Traité de Géologie*.

PHASE STÉPHANIENNE.	*Zone supérieure :* (Calamodendron, Calamites gigas).	Faisceau supérieur de Saint-Étienne. — Saint-Berain, Decazeville, Commentry, Ahun, Champagnac, Cublac. — Couches d'Ottweiler.
	Zone moyenne : (Pecopteris arborescens, Caulopteris, Odontopteris, Annularia stellata).	Faisceau moyen de Saint-Étienne. — Argentat, base de Decazeville, zone supérieure de la Grand'Combe.
	Zone inférieure : (Annularia sphenophylloïdes).	Faisceau inférieur de Saint-Étienne. — Système de Rive-de-Gier, bassin de Ternay et Communay, Bessèges, la Grand'Combe (zone inférieure), Graissessac, Carmaux, la Mure, Petit-Cœur. — Anthracite du Briançonnais, bassin du Reyran. — Upper coal measures de Radstock et de Hampstead. — Couches de Radowenz.
PHASE WESTPHALIENNE.	*Zone supérieure :* (Cordaïtes).	Lens, Bully-Grenay et Dourges. — Upper coal measures d'Angleterre. — Geislautern, Essen, Ibbenbühren. — Zwickau, Lugau. — Upper coal measures de l'Amérique du Nord.
	Zone moyenne : (Lepidophloios et Nevropteris).	Partie principale des bassins du Nord, du Pas-de-Calais et du Hainaut. — Lower et middle coal measures d'Angleterre. — Eschweiler, Bochum. — Kladno, Dombrowa. — Bassins du Donetz et des Asturies. — Partie principale du bassin de la Sarre. — Couches de Schatzlar (Silésie).
	Zone inférieure : (Sigillaria en grand nombre).	Base des couches du Nord et du Pas-de-Calais. — Millstone grit. — Dortmund. — Belmez. — Lower coal measures de l'Amérique du Nord.
PHASE DU CULM.	*Zone supérieure :* (Sphenopteris Diplotmema).	Bassins de la Basse-Loire (Chalonne) et de la Sarthe (Sablé). — Waldenburg (Silésie). — Ostrau (Moravie). — Hainichen, Ebersdorf (Saxe). — Kharkof (Russie).
	Zone moyenne : (Sphenopteris Schimperi).	Grauwacke de Thann et de Rougemont. — Grès à anthracite du Roannais et du Beaujolais. — Culm de Westphalie, du Nassau, de Hesse, du Harz, de la Silésie. — Altendorf (Moravie). — Couches de Burdie-House et de Burnt-Island, en Écosse.
	Zone inférieure : (Archœopteris).	Base du grès calcifère d'Écosse.

L'étude des empreintes végétales de la houille peut ainsi permettre de diversifier les espèces, mais elle n'est pas toujours possible. Elle n'est pas non plus toujours spécifique au dernier degré.

Pratiquement, on peut diversifier les diverses variétés de houille comme suit.

Les *houilles* résultent de l'assemblage de tous les organes des plantes, bois, écorce, feuilles, fructifications variées. La composition dépend de l'altération plus ou moins grande que la fermentation microbienne leur a fait subir. Cette fermentation a eu pour but d'agir sur l'hydrogène et sur l'oxygène et de diminuer la quantité de ces gaz dans les combustibles, d'où leur diversification[1]. L'étude des houilles au microscope l'a démontré. Pour l'*anthracite* interviennent, en outre, des phénomènes de métamorphisme.

Les *cannel coals* résultent d'un mélange de cryptogames et d'algues d'eau douce, le mélange donnant des cannels lignitoïdes dans les eaux peu profondes ou des cannels proprement dits dans les eaux profondes.

Les *bogheads* ont été formés par l'accumulation d'algues d'eau douce.

Cannel coal. — Ce combustible fut découvert au xvii[e] siècle, dans le Lancashire, à Haigh, près Wigan. Le cannel coal a tiré son nom de son usage, comme moyen d'éclairage chez les pauvres gens : « candle », chandelle, bougie. Il brûle, en effet, avec une flamme claire. Il est très dur, dense et amorphe. On l'emploie aussi pour sculpter des ornements, de menus instruments : assiettes, bougeoirs, boîtes. Il est très riche en hydrogène et rend 40 0/0 de matières volatiles ; aussi est-il recherché pour la production du gaz d'éclairage par distillation.

Généralement on comprend dans la même classe certains schistes bitumineux qui, par distillation, donnent de la paraffine liquide et solide. Le *cannel boghead* serait le principal représentant de ce type.

Cette classe de combustible se rencontre principalement dans le Lancashire et en Écosse.

Les cannels, employés principalement pour la fabrication du gaz en Grande-Bretagne, sont les suivants, et leurs rendements en gaz sont également indiqués dans le tableau ci-dessous emprunté à l'ouvrage de M. Lozé sur *les Charbons britanniques*.

1. Renault, Congrès géologique de 1902.

CANNELS	COMTÉS	MÈTRES CUBES PAR TONNE
Boghead, ou mineral torbane	Linlithgow	417
Lesmahago	Lanark	378
Methill Pirnie	Fife	378
Overtown	Lanark	364
Wemyss	Fife	399
Arniston	Midlothian	352
Ramsay	—	288
Kirkness	Kinross	358
Capeldrae	Fife	392
Skatrig	Lanark	291
Lochgelly	Fife	266
Rigside	Lanark	291
Rochsoles	—	333
Leeswood (Smooth)	Flint	279
— (Curly)	—	399
Wigan	Lancashire	338
Ince Hall	—	326
Pelton	Durham	322
Leverson	—	324
Washington	—	294

Un produit très recherché est le cannel coal marron, connu sous le nom de Torbane Hill Mineral et, plus particulièrement en Écosse, sous celui de Parrot Coal ou charbon perroquet. Cette dernière dénomination lui a été donnée à cause du bruit qu'il fait en se cassant par morceaux, lorsqu'on le place sur le feu. Le Parrot Coal est surtout remarquable pour la production du gaz et de l'huile de paraffine. Il donne à la distillation 568 litres d'huile de paraffine par tonne.

Les analyses ont donné les résultats suivants pour les charbons de cette nature :

ÉLÉMENTS	LESMAHAGO	BOGHEAD	CAPÉLDRAE	LOCHGELLY
Matières volatiles	49,60	68,40	54,50	33,50
Coke	50,40	31,60	45,50	66,50
Cendres	9,10	22,80	10,50	13,10
Soufre dans le charbon	2,23	0,53	0,65	0,75
Soufre dans le coke	1,14	0,08	0,20	0,25
Soufre dans la matière volatile	1,09	0,45	0,45	0,50
Cendres dans le coke	18,05	70,25	23,07	29,70

Le cannel de Lesmahago, dont il vient d'être question, est massif,

noir mat, sa fracture se fait en feuillets conchoïdaux, la fracture transversale est conchoïdale et angulaire, à raies noires et quelquefois luisantes; jeté sur le feu il crépite légèrement, ne fond ni ne fuse; sa combustion laisse des cendres blanches et d'un bleu sale avec le nitrate de cobalt. Son poids spécifique est de 1.220.

Le rendement en gaz est de 378 mètres cubes.

Une autre variété de cannel, le Pirnie, extrait à Methill, donne les résultats suivants :

Poids spécifique	1,126
Gaz, par tonne	378 mètres cubes.
Pouvoir éclairant	28 bougies.
Coke et cendres	36,00 pour cent.
Hydrocarbures	20,00 »
Hydrogène sulfuré	0,50 »
Acide carbonique	4,75 »
Oxyde de carbone	7,75 »
Matières volatiles dans le charbon.	65,00 »
Poids spécifique du gaz	0,700 »

En somme, tous ces cannels sont d'excellents charbons à gaz, et sont exploités avec avantage dans ce but en Angleterre où on les rencontre davantage que partout ailleurs.

CHAPITRE II

ESSAIS ET ANALYSE DE LA HOUILLE

Analyse chimique. — **Prise** d'essai. — Essai qualitatif. — **Essai quantitatif rapide.** — Essai industriel. — Dessiccation. — Distillation. — Calcination. — Incinération. — Analyse élémentaire. — Dosage du carbone. — Dosage du soufre. — Dosage du phosphore. — Détermination des cendres. — *Pouvoir calorifique.* — Formules théoriques. — Déterminations pratiques. — **Essai Berthier.** — Essais calorimétriques. — Calorimètre Thompson. — Appareil Mahler. — Calorimètre américain. — Comparaison des diverses méthodes. — *Pouvoirs rayonnant et vaporisateur.* — *Pouvoir cokéfiant.* — *Étude radiographique.*

Analyse chimique. — L'analyse d'une houille ne sera complètement exacte que si elle est faite sur des échantillons moyens. Or il est difficile souvent de constituer, par des prises d'essai, des échantillons rigoureusement parfaits, et même, si l'on se contente d'échantillons approchés, le problème est encore complexe. Si d'ailleurs on analyse successivement deux morceaux provenant d'un même bloc, il n'est pas rare d'y trouver des différences de 2, 3 et 5 0/0, quelquefois même de 15 0/0, dans la teneur en carbone. La proportion des cendres varie également de 8 à 15 et même 30 0/0. Ces chiffres suffisent pour montrer le degré d'exactitude que peuvent comporter les analyses. A un autre point de vue, il importe de remarquer que la présence des matières organiques est aussi une cause de perturbation dans les résultats.

Il faut donc s'appliquer, avant toute analyse, à faire des prises d'essai très soignées. Il faut aussi demander au chimiste chargé de l'essai un soin particulier pour toutes les opérations qu'il devra pratiquer.

Prise d'essai. — La prise d'essai se fait soit sur les tas de charbon, soit sur les wagons à leur entrée dans l'usine.

Sur les tas de charbon on prend une pelletée au sommet, une autre au milieu, une troisième à la base et on mélange le tout.

Dans les wagons, s'il s'agit de tout-venant, on prend sur chaque wagon du gros, du moyen et du fin; on pulvérise et on mélange.

L'un ou l'autre de ces mélanges est alors soumis à la méthode bien connue des partages successifs par tas carrés ou par tas circulaires. Rappelons brièvement le procédé.

On forme avec la matière un carré à peu près régulier qu'on divise ensuite par des lignes transversales et longitudinales en plusieurs autres carrés, une dizaine par exemple. Dans chacun des carrés formés on prélève un échantillon et on forme un nouveau carré qu'on subdivise en une série de petits carrés. On renouvelle l'opération jusqu'à ce qu'on n'ait plus qu'un faible poids susceptible d'être soumis à l'analyse. Il est bon d'ailleurs de multiplier le plus possible le nombre des opérations, afin d'avoir un bon échantillon moyen.

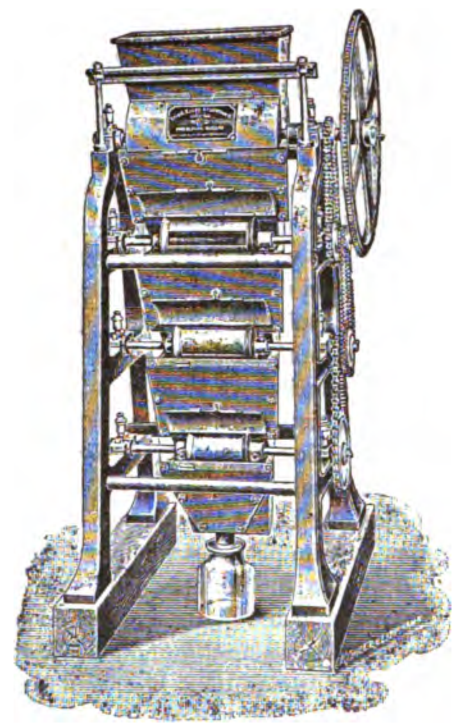


FIG. 1. — Appareil de prise d'essai mécanique des échantillons d'analyse.

Si l'on réalise non plus des carrés, mais des tas circulaires, le prélèvement s'opère suivant un diamètre. On constitue de la sorte un tas plus petit où le prélèvement se fera de nouveau suivant un diamètre. Et l'on répète la même opération aussi longtemps que cela semble nécessaire.

S'il s'agit d'épreuves contradictoires à faire par le destinataire et par l'expéditeur, il convient de faire trois échantillons identiques. Les deux premiers sont analysés par les chimistes des intéressés, le troisième est scellé, mis en dépôt et ouvert seulement en cas de contestation.

Que la prise d'essai soit faite d'une manière ou d'une autre, l'important est de bien vérifier, avant de constituer les tas rectangu-

laires ou circulaires, si les charbons sont bien menus et de les y ramener par broyage, s'il n'en est pas ainsi.

Quelques précautions accessoires doivent être prises. Il faudra notamment éviter que la houille, à l'état pulvérulent, n'absorbe de l'eau; l'absorption peut être de 5 à 6 0/0 dans une période de 12 heures. Pour éviter que cette absorption ne se produise, on conservera les échantillons dans des cristallisoirs recouverts d'une plaque de verre.

La prise d'essai peut être faite mécaniquement. Les usines de la Grusonwerk Gesellschaft, en Allemagne, construisent à cet effet un appareil composé de trois trommels superposés (*fig.* 1), dont les dimensions vont en décroissant et dont le nombre de tours diminue aussi progressivement. La matière tombe d'un trommel à l'autre par une fente longitudinale. Une partie seulement de la matière passe dans le cylindre voisin et y est brassée à nouveau. On obtiendra ainsi un échantillon moyen élaboré d'une manière tout à fait méthodique.

Essai qualitatif. — L'essai qualitatif d'une houille peut s'effectuer dans un tube de verre qu'on chauffe progressivement jusqu'à une haute température en le maintenant horizontal.

L'eau distille en premier lieu. Cette eau donnera, en général, une réaction alcaline sur un papier de tournesol, car elle est de nature ammoniacale.

Les bitumes et les goudrons distillent en fin d'opération, à condition de faire progresser le chauffage jusqu'aux environs de la température de ramollissement du verre.

Quand la distillation est terminée et complète, on casse le tube et on examine l'aspect du résidu. Ce résidu aura des aspects différents selon la qualité des houilles. Le coke est pulvérulent avec les houilles maigres et les anthracites. Il est boursouflé avec les houilles à gaz. Il est dur et donne un son clair avec la houille à coke.

Un essai qualitatif peut aussi être fait à l'air libre.

Si le charbon s'enflamme facilement ou s'il donne beaucoup de fumée, c'est une houille à gaz.

S'il se fendille en brûlant, il est de qualité plutôt maigre.

S'il se ramollit ou s'il colle, c'est une houille grasse.

S'il brûle avec une flamme bleuâtre ou s'il s'allume difficilement, ce sera de l'anthracite.

On peut enfin examiner la nature des cendres après la combustion. Certains anthracites ont des cendres rougeâtres. Dans un essai

avec la potasse les cendres des houilles donnent une liqueur limpide. Pour les lignites, la liqueur serait brune.

Essai quantitatif rapide. — On peut opérer un essai quantitatif, permettant de déterminer rapidement les teneurs en carbone, en matières volatiles et en cendres. Cet essai, qui se fera aisément et sans grandes installations, est le suivant.

On fait d'abord une calcination en vase clos : en général 5 grammes de combustible bien pulvérisé suffisent. La calcination s'opère par la méthode du double creuset, le creuset intérieur étant en platine. Le résidu de la calcination se compose du carbone et des cendres. Par différence avec le poids initial on détermine la quantité de matières volatiles.

Puis on incinère le résidu pour avoir la proportion des cendres. On brûle à une atmosphère oxydante, de manière à opérer la combustion complète du carbone. Le poids du résidu donne la proportion des cendres.

C'est en somme l'abrégé de l'analyse ultérieure du chimiste. Celui-ci aura à déterminer plus exactement les quantités de soufre, de phosphore, la nature des cendres, le pouvoir calorifique, le pouvoir cokéfiant, la nature enfin des gaz qui composent les matières volatiles.

C'est ce que nous allons examiner maintenant.

Essai industriel. — Les industriels doivent, surtout quand leurs usines consomment des tonnages importants de houille, faire un essai quantitatif complet, consistant en opérations rationnelles et successives de dessiccation, de distillation, de calcination et d'incinération.

Dessiccation. — Pour qu'une opération chimique de dessiccation soit exacte, il faut chauffer à 100°, sans dépasser cette température afin que les carbures ne commencent pas à distiller. On opérera sur 10 grammes de matière en poudre fine ou mieux sur 100 grammes et même 1 kilogramme de matière en poudre grossière.

La matière non tamisée est étendue sur une plaque de tôle mince qui a été séchée au préalable. On chauffe sur une lampe à alcool ou dans un bain de sable. On pèse ensuite. On renouvelle plusieurs fois l'opération et on ne s'arrête que lorsqu'on arrive à trouver toujours la même perte de poids.

Quelque répétées que soient les opérations il y a toujours des causes d'erreur, soit que la houille perde des hydrocarbures, soit qu'elle s'oxyde sous l'action de la chaleur. Aussi vaut-il mieux opérer de la manière suivante :

On dessèche la houille au bain-marie dans un courant d'hydrogène sec, et on recueille dans un tube à boules avec acide sulfurique la vapeur d'eau qui se trouve entraînée. Le courant d'hydrogène est prolongé jusqu'à ce qu'il n'y ait plus de gouttelettes d'eau dans le tube de dégagement. On laisse refroidir, puis on fait passer un courant d'air sec et on pèse. La perte de poids du ballon qui contenait le combustible, perte de poids contrôlée par le gain en poids du tube d'absorption, représente la quantité d'eau.

Distillation. — La distillation au-dessus de 100° est surtout intéressante pour les houilles à gaz. Celles-ci donnent de l'eau, des matières gazeuses et des goudrons. Les matières gazeuses sont enflammées et leur pouvoir éclairant est déterminé au photomètre. Quant aux goudrons, ils sont examinés dans des appareils qui sont des réductions des appareils industriels employés dans les usines à gaz.

Le rendement en gaz du combustible est intéressant à déterminer. A cet effet, on emploie un appareil se composant d'un fourneau chauffé au gaz et muni d'un tube en fer dans lequel on place le charbon à l'intérieur d'une nacelle. Le charbon n'est introduit que lorsque le tube est au rouge. Chaque échantillon est toujours placé à la même température. Les gaz de la combustion traversent des tuyaux et s'y refroidissent. Les goudrons et les eaux ammoniacales s'échappent à la base de ces tuyaux au moyen de robinets. Les gaz traversent ensuite de petits épurateurs et se rendent à un gazomètre qui porte une échelle graduée pour mesurer les volumes qu'on lit en ramenant la pression à 0 par l'observation des manomètres.

Calcination. — La calcination, c'est-à-dire la détermination des matières volatiles, se fait par la méthode du double creuset. On opérera aussi le chauffage sur la flamme d'un brûleur à gaz. Il faut réaliser un chauffage rapide, la flamme étant la plus longue possible.

Pratiquement, si le chauffage est fait sur un bec Bunsen, on doit observer les règles suivantes :

1° Prendre 1 gramme de substance ;

2° Chauffer avec une flamme d'au moins 18 centimètres de hauteur sur un simple brûleur Bunsen muni d'une cheminée ;

3° Faire usage d'un triangle en fil métallique mince ;

4° Laisser 30 millimètres d'intervalle entre le creuset et l'orifice du brûleur ;

5° Prendre un creuset de platine de forme large, avec un couvercle à cheminée ;

6° Employer un creuset de plus de 30 millimètres de hauteur pour les charbons qui se boursouflent beaucoup ;

7° Chauffer jusqu'à disparition de toute flamme à la cheminée du couvercle du creuset.

Il suffit de peser le creuset, avant et après carbonisation, pour obtenir, par différence, le poids des matières volatiles.

On devra en revenir au chauffage avec double creuset au sein du charbon de bois dans les laboratoires où l'on ne possède pas le gaz d'éclairage. On choisit un creuset de porcelaine de préférence à un creuset de platine à cause du soufre qui peut se trouver dans la houille.

La houille à examiner est donc placée dans de petits creusets de porcelaine que l'on dispose dans un creuset de terre plus grand ; on noie les creusets dans du charbon de bois en grains ; on couvre le grand creuset et on porte le tout dans un foyer. On donne une chaude d'environ une heure, puis on laisse refroidir.

Il suffit de peser le culot de coke pour obtenir, par différence, la teneur en matières volatiles.

Il sera bon d'opérer en double et de prendre la moyenne des résultats d'expérience.

Il importe de noter que les chiffres obtenus en opérant, comme il vient d'être dit, représentent la somme des matières volatiles combustibles et de l'humidité, si la houille n'a pas été desséchée.

Pour avoir la teneur en matières volatiles combustibles, il faudra retrancher l'humidité, dont la détermination a lieu comme il a été dit précédemment.

Incinération. — L'incinération a pour but de déterminer la quantité de cendres du combustible. On peut reprendre le coke de l'opération de calcination après avoir soumis ce coke à la pulvérisation.

L'analyse se fait avec 1 ou 2 grammes de matière, soit sur une lampe à gaz, soit au moufle. Elle se conduit avec une chaleur lente et progressive, afin d'éviter les pertes par projection ou la formation d'un culot de coke dont la combustion serait difficile. S'il y a des fragments de charbon non brûlés, on reprend par l'alcool. Les points noirs de charbon viennent à la surface. En évaporant l'alcool, ces points noirs disparaissent. Il ne reste plus exactement que les cendres, et l'on peut peser.

Quel que soit le soin apporté aux analyses, il n'y a pas tou-

jours constance des résultats. Ces résultats, pour un même échantillon, peuvent varier quelque peu pour les raisons suivantes :

1° Le carbonate de calcium que contiennent les houilles est plus ou moins transformé en oxyde, sulfure, sulfate ou silicate ;

2° Les sulfates sont réduits en proportions variables à l'état de sulfures ;

3° Les sulfures perdent du soufre ou se transforment en sulfates, qui sont ensuite décomposés en produisant des oxydes.

L'intensité de la chaleur et la durée du chauffage sont les deux causes principales qui sont capables de modifier les résultats. Le mieux est de prolonger suffisamment l'action de la chaleur pour obtenir un grillage complet et pour assurer la décomposition totale des carbonates. Ceci ne suffit pas, cependant, pour assurer l'uniformité des résultats, à cause de réactions qui peuvent intervenir pendant les premières phases du chauffage et modifier la composition des cendres.

Analyse élémentaire. — Les éléments chimiques constituants d'une houille et devant être déterminés par l'analyse élémentaire, sont : le carbone, l'hydrogène, l'azote, l'oxygène. Le carbone et l'hydrogène sont recherchés dans le tube à combustion que nous allons décrire. On dose l'azote par la méthode à la chaux sodée (Will et Warrentrapp) ou mieux encore en appliquant une méthode indiquée par Kjeldahl. Nous n'insisterons d'ailleurs pas sur la description de ces procédés, car l'azote n'est pas toujours recherché.

L'oxygène est obtenu par différence.

Il importe de noter que l'analyse élémentaire des combustibles nécessite une installation importante et des soins assidus ; aussi ce procédé d'investigation est-il rarement suivi dans les laboratoires industriels ; il reste l'apanage des grands laboratoires scientifiques.

Dosage du carbone. — On emploie un tube en fer forgé de 20 à 22 millimètres de diamètre et de 115 centimètres de longueur. Le tube a été préalablement porté au rouge, tandis qu'un courant de vapeur d'eau le traversait.

On remplit le tube d'oxyde de cuivre et de quelques copeaux de cuivre en spirale.

On place dans le tube deux nacelles de fer maintenues par un fil de fer, chacune de ces nacelles étant mise à chaque extrémité du tube.

On aspire à travers le tube une certaine quantité d'air. L'air qui passe à travers le tube est desséché dans un tube en U à ponce sul-

furique, dans un tube de Liebig avec potasse et dans un tube en U contenant des fragments de potasse. On peut aussi, en lieu et place d'air, employer l'oxygène qui se dégage du chlorate de potassium.

Après un chauffage de deux à trois minutes, on remplit l'une des nacelles avec le combustible à analyser, en le mélangeant ou non avec de l'oxyde de cuivre, suivant que l'on veut ou non peser les cendres, sitôt l'opération terminée. L'autre nacelle contient du chromate de plomb, afin de brûler le chlore, le brome et l'acide sulfureux qui pourraient troubler les résultats d'analyse.

On recueille ainsi le carbone à l'état d'acide carbonique dans la potasse. La quantité de carbone est égale à 27,27 fois le poids d'acide carbonique trouvé.

On peut aussi doser de cette manière la quantité d'hydrogène de la houille en pesant l'eau absorbée par la ponce sulfurique. Le coefficient à adopter pour le calcul est 11,11.

Dosage du soufre. — Il faut doser le soufre aux trois états où nous avons dit qu'il se trouvait dans la houille : soufre dans les sulfures métalliques, soufre dans les sulfates alcalino-terreux, en général le gypse, soufre à l'état organique (hydrocarbure sulfuré).

Le sulfate de calcium existe souvent dans la houille en lamelles parfaitement visibles. Pour l'analyse il faudra toujours prendre un échantillon d'un poids considérable. En général, on opère sur 25 grammes.

La houille porphyrisée est mise en digestion pendant deux ou trois jours dans un volume de 3 litres d'eau. Après filtrage, le sulfate de calcium restera tout entier à l'état de précipité. On traite par l'acide chlorhydrique et on précipite l'acide sulfurique par le chlorure de baryum. Le poids trouvé de sulfate de baryum donnera la quantité de soufre.

Le soufre des sulfures métalliques devra être oxydé au moyen du chlore et de la potasse. On traite la matière par l'eau, on la filtre et on la sèche à 100°. On prendra 2 à 10 grammes de combustible suivant la teneur présumée en soufre. On attaque par l'acide azotique concentré, puis on ajoute de l'eau et de la potasse. On fait enfin arriver un courant de chlore qu'on prolonge pendant dix ou quinze minutes. Le soufre se trouve alors en entier dans la liqueur alcaline à l'état d'acide sulfurique. On lave par décantation et, dans la liqueur acidifiée par l'acide chlorhydrique, le soufre est précipité à l'état de sulfate de baryum par le chlorure de baryum.

On fera usage aussi du procédé Sauer. Dans un tube de verre,

chauffé au rouge, on brûle 1 gramme de houille au moyen d'un courant d'oxygène; le soufre organique et le soufre des pyrites sont transformés en acide sulfureux, que l'on reçoit, avec les gaz de la combustion, dans un tube à boule contenant de l'acide chlorhydrique bromé, qui oxyde l'acide sulfureux.

On obtient ainsi tout le soufre à l'état d'acide sulfurique. Il suffit de chasser l'excès de brome par ébullition et de précipiter le sulfate de baryum.

On fera usage enfin de l'obus calorimétrique Mahler, servant à déterminer le pouvoir calorifique des combustibles, que nous décrirons plus loin (Voir page 38).

Dans l'obus, on brûle 1 gramme de combustible au milieu d'une atmosphère d'oxygène sous pression. Tout le soufre est transformé en acide sulfurique.

On rince l'obus avec un peu d'eau dans laquelle on fait digérer la cendre restée dans la capsule, puis l'on filtre et l'on obtient une liqueur qui renferme tout l'acide sulfurique provenant de la combustion du soufre. On précipite par le chlorure de baryum.

Le procédé d'analyse Eschka consiste à brûler le combustible avec du carbonate de sodium et de la magnésie. Mais le procédé n'est pas parfait en ce sens qu'il se forme des composés sulfurés gazeux. Il se dégage surtout de l'acide sulfhydrique, et cet acide donnerait des pertes dans une proportion de 6 0/0.

Aussi le Dr Hundeshagen a-t-il proposé de remplacer le carbonate de potassium par le carbonate de sodium. Ce dernier formerait avec l'eau du combustible un composé hydraté qui absorbe les produits sulfurés et les empêche de se volatiliser.

Il semble pourtant que par l'un comme par l'autre des procédés on obtienne des résultats comparables, suivant des expériences faites par M. James O'Handy et par M. Camp.

Dans les deux cas on emploie 1 partie de carbonate pour 2 parties en poids de magnésie. Il faut éviter de mettre un excès de carbonate, car la combustion du charbon serait entravée. Avec 1 partie de charbon on met 2 parties du mélange ou plutôt on place dans un creuset le combustible avec trois quarts du mélange, le dernier quart recouvrant le tout. La combustion dure de quinze à trente minutes.

L'analyse se conduit pratiquement de la manière suivante :

On prend 1gr,200 de combustible très finement pulvérisé, que l'on

mélange intimement, dans un mortier de verre, avec 1gr,250 de magnésie, 0gr,300 de carbonate de sodium et 0gr,300 de carbonate de potassium.

On introduit le tout dans une capsule de platine, on recouvre avec 0gr,500 de magnésie et on chauffe au rouge sombre, sur une lampe à alcool à double courant d'air [1], en agitant de temps à autre avec une spatule de platine, jusqu'à ce que toutes les particules charbonneuses soient brûlées, ce qui exige environ une heure.

A ce moment, on reprend par l'eau bouillante et on fait tomber toute la masse dans un ballon jaugé à 120 centilitres ; on agite bien, on laisse refroidir et on parfait le volume. On mélange à nouveau et on filtre sur un papier sec, puis on prélève, avec une pipette, 100 centilitres de liquide, correspondant à 1 gramme de combustible.

La liqueur est versée dans une fiole poire et acidifiée légèrement par l'acide chlorhydrique bromé, en vue de transformer en sulfate les petites quantités de sulfure ou de sulfite de sodium qui pourraient exister. On fait bouillir pour chasser l'excès de brome et l'on ajoute dans la liqueur bouillante 10 centilitres de solution de chlorure de baryum. On laisse déposer le sulfate barytique, puis on le recueille sur un filtre. On lave, on sèche, on calcine et on pèse le sulfate barytique.

La méthode est assez rapide et permet en deux ou trois heures de doser le soufre dans un combustible.

Comme il est très difficile de se procurer des carbonates alcalins et de la magnésie absolument exempts de sulfates, il est indispensable de faire un essai à blanc avec les mêmes quantités de réactifs. Le poids de sulfate de baryum ainsi trouvé est retranché de celui que l'on a obtenu.

Dosage du phosphore. — La détermination du phosphore se fait par voie humide.

On prend les cendres d'une des opérations précédentes, et on les acidifie par l'acide azotique. Dans la solution on précipitera le phosphore à l'état de phospho-molybdate d'ammonium. Il suffit de rappeler la réaction.

En liqueur acide, si l'on verse du molybdate d'ammonium, il se fera un précipité jaune et volumineux de phospho-molybdate hydraté.

1. L'emploi d'un brûleur à gaz est dangereux, car le mélange alcalin pourrait absorber une partie du gaz sulfureux résultant de la combustion du gaz.

Le précipité qui a l'apparence cristalline est mieux caractérisé que le précipité de phosphate ammoniaco-magnésien qui est souvent lent à se produire, mais il est bon de nc pas peser à l'état de phospho-molybdate dans la crainte d'avoir un excès de poids. Il vaut mieux ramener à l'état de phosphate de magnésium.

On peut aussi opérer, non plus sur les cendres, mais sur la houille elle-même. On fond la houille avec 5 fois son poids de carbonates alcalins. Après fusion on dissout par l'acide chlorhydrique, puis on évapore à sec avec un excès d'acide chlorhydrique pour évaporer la silice. Après évaporation on précipite comme précédemment le phospho-molybdate en liqueur acide.

D'après des expériences faites par M. Campredon, ce serait ce dernier essai qui donnerait d'une manière exacte la totalité du phosphore. Les cendres, même très finement pulvérisées et soumises pendant quinze ou vingt heures à l'action de l'acide, abandonnent très difficilement leur phosphore. Avec des teneurs de 0,26 0/0 on pourra avoir un écart en moins de 0,12 0/0 sur la méthode d'attaque directe au carbonate de sodium.

Détermination des cendres. — Les cendres de la houille se composent en général de 50 0/0 de silice, d'une portion considérable d'oxyde de fer et d'alumine, de chaux dans la proportion de 15 à 20 0/0. Il y a aussi du phosphore et du soufre à l'état de phosphate et de sulfate, comme nous l'avons dit.

Tous ces éléments doivent être déterminés le plus exactement possible non seulement au point de vue de la conduite des foyers, mais surtout en ce qui concerne les emplois dans la métallurgie. Les cendres augmentent, en effet, les impuretés de la scorie qui sera en contact intime avec le métal.

L'analyse complète des cendres est faite de la manière suivante :

On fond 5 grammes[1] de cendres avec 15 grammes d'un mélange, à poids égaux, de carbonate de sodium et de carbonate de potassium, dans un creuset de platine. On reprend par l'eau acidulée avec de l'acide chlorhydrique ; on ajoute ensuite un excès de ce même acide et on évapore à sec pour insolubiliser la silice. On reprend par l'acide chlorhydrique, on étend d'eau et on filtre pour recueillir la silice, tandis que l'on reçoit la liqueur filtrée dans un ballon jaugé de

1. Pour obtenir une quantité de cendres suffisante pour l'analyse, on incinère un poids convenable de houille dans un ou plusieurs têts à rôtir que l'on place dans un four à moufle.

500 centimètres cubes. On lave et on parfait le volume à 500 centimètres cubes.

Dans la liqueur les principales substances se dosent ainsi.

L'*oxyde de fer* et l'*alumine* se déterminent par précipitation au moyen de l'ammoniaque.

Pour doser l'*oxyde de fer* seul on précipite au moyen de l'ammoniaque, on filtre, on redissout et l'on titre le fer par une des méthodes calorimétriques connues au bichromate ou au permanganate de potassium.

Pour doser le *manganèse*, la *chaux* et la *magnésie* on ajoute un peu de brome et un excès d'ammoniaque. On précipite ainsi l'oxyde de fer, l'alumine et l'oxyde de manganèse ; le précipité est recueilli sur un filtre, on le redissout dans l'acide et on dose le manganèse par le permanganate. La liqueur séparée des oxydes par filtration contient la chaux et la magnésie, que l'on dose par les moyens ordinaires.

Pour doser l'acide sulfurique, c'est-à-dire le *soufre* des sulfates, on précipite au moyen du chlorure de baryum.

Enfin le *phosphore* se dose comme on l'a vu précédemment.

Les *alcalis* sont déterminés sur une prise spéciale. Après la séparation de la silice et des autres bases, fer, magnésie, chaux (*précipitation par l'oxalate de calcium*) on transforme par calcination les alcalis en carbonates et le chlorure de magnésium en magnésie. On reprend par l'eau chaude, puis avec du chlorure platinique on forme des précipités de chlorures doubles de platine et de potassium ou de sodium.

Outre cette méthode complète de détermination analytique des cendres, il est bon de signaler quelques observations pratiques au point de vue de leur couleur et de leur fusibilité.

Une couleur des cendres rouge ou brune correspond à la présence d'une grande quantité de fer provenant des pyrites. La teneur en soufre du combustible est alors élevée.

Des cendres grises ou blanches ne contiendront que peu de soufre. Si elles sont très blanches, les éléments alcalins ou alcalino-terreux y prédomineront. Souvent, le lavage des combustibles peut faire changer la couleur des cendres.

Nous avons déjà parlé de l'avantage que l'on peut avoir à n'employer que des charbons à cendres infusibles. On pourra parfois se rendre compte de la nature des cendres par l'aspect du mâchefer obtenu dans une première analyse avant de pratiquer l'essai industriel complet.

On fera aussi des essais comparatifs de fusion, ou bien, d'après la proportion d'alumine donnée par l'analyse élémentaire, et d'après les proportions de fer, de chaux et de magnésie, on saura si les cendres sont infusibles ou fusibles.

Pouvoir calorifique. — Le pouvoir calorifique absolu d'un combustible est la quantité de chaleur dégagée par la combustion complète de l'unité de poids de ce combustible.

Ce pouvoir calorifique n'est pas le même pour les diverses qualités de houille. Il est fonction immédiate de la quantité de carbone fixe. Pour des catégories identiques, il varie, en outre, avec la teneur en cendres, si bien que dans les chaudières on a tout avantage, pour obtenir un régime homogène et pour vaporiser toujours la même quantité d'eau, à employer un charbon de teneur constante en cendres aussi bien qu'en matières volatiles.

On peut admettre d'une manière générale que chaque pour cent de cendres en plus abaisse le pouvoir calorifique de 90 calories.

Chaque pour cent de matières volatiles en plus élève le pouvoir calorifique de 60 calories.

Le tableau suivant donne les valeurs moyennes du pouvoir calorifique pour les catégories de houille de la classification de Gruner.

	POUVOIR CALORIFIQUE
Houille sèche à longue flamme	8.200
— grasse à longue flamme	8.600
— grasse ordinaire	9.000
— grasse à courte flamme	9.400
— sèche à courte flamme	9.200
Anthracite	9.200

Formules théoriques. — Théoriquement, le pouvoir calorifique des combustibles peut être calculé à l'aide d'une série de formules que nous allons successivement indiquer.

La première en date est celle de Dulong. Elle s'écrit ainsi :

$$P = 8080C + 34.462\left(H - \frac{O}{8} + 2.250S\right).$$

C est la teneur en carbone ;

H, la teneur en hydrogène ;

O, la teneur en oxygène ;

S, la teneur en soufre.

Les chiffres obtenus à l'aide de cette formule sont inférieurs en général au pouvoir calorifique réel du combustible.

En outre, quand bien même les proportions d'hydrogène et de carbone seraient les mêmes, les pouvoirs calorifiques différeront quelquefois comme valeur.

La formule de Scheurer-Kestner donne des résultats plus voisins de la vérité.

$$P = 8080C + 34.500H.$$

Il faut, toutefois, lui préférer la formule de M. Cornut, qui tient compte des proportions de carbone fixe C_1 et de carbone volatil C_2. Cette formule est la suivante :

$$P = 8080C_1 + 11.214C_2 + 34.462H.$$

Les résultats obtenus au moyen de cette formule sont exacts à 5 0/0 près.

Une formule allemande donnerait des résultats encore plus approchés, à 3 1/2 0/0 près ; elle se calcule de la manière suivante :

Soit C la teneur du combustible en carbone fixe, ou, ce qui revient au même, la quantité de coke qu'il peut produire. Désignons par Q la quantité d'oxygène déterminée par l'essai Berthier que nous examinerons plus loin, quantité nécessaire pour brûler complètement le combustible.

S'il s'agit de brûler le carbone fixe seulement, la quantité d'oxygène nécessaire sera Q_1, et l'on aura :

$$Q_1 = \frac{8}{3} C,$$

d'après une formule qui dérive directement de celle de l'essai Berthier.

La quantité Q_2 d'oxygène nécessaire pour brûler le carbone volatil est :

$$Q_2 = Q - Q_1 = Q - \frac{8}{3} C.$$

Si l'on prend le rapport de ces deux quantités de chaleur on a :

$$\frac{Q_2}{Q_1} = \frac{Q - \frac{8}{3} C}{\frac{8}{3} C} = \frac{\frac{3}{8} Q - C}{C}.$$

D'autre part, le pouvoir calorifique est donné par la formule

$$P = 80\,Q + K\,\frac{Q_2}{100},$$

K désignant la chaleur spécifique de l'oxygène nécessaire pour brûler les matières volatiles.

Les valeurs de $\frac{Q_2}{Q_1}$ sont inscrites sur le tableau suivant, ainsi que celles de K. On peut donc calculer le pouvoir calorifique.

$\frac{Q_2}{Q_1}$	K	$\frac{Q_2}{Q_1}$	K	$\frac{Q_2}{Q_1}$	K
0,2	4,000	1,0	3,250	5,0	3,130
0,3	4,000	1,5	3,225	5,5	3,120
0,4	4,000	2,0	3,210	6,0	3,110
0,5	3,550	2,5	3,200	6,5	3,080
0,6	3,400	3,0	3,180	7,0	3,070
0,7	3,340	3,5	3,170	7,5	3,060
0,8	3,300	4,0	3,150	8,0	3,050
0,9	3,270	4,5	3,140		

Il existe un certain nombre d'autres formules. L'une est due au Dr Alberti; une autre à M. Hempel, de Magdebourg. Enfin, M. Goutal a proposé la formule suivante basée, comme la formule allemande, sur les teneurs en carbone fixe et en matières volatiles

$$P = 8.150C + A \text{ matières volatiles},$$

dans laquelle C représente la teneur en carbone fixe (coke moins cendres);

A est un coefficient qui varie comme il suit :

13.000	entre	2 et 15	0/0 de matières	volatiles.
10.000	—	15 et 30	—	—
9.500	—	30 et 35	—	—
9.000	—	35 et 40	—	—

De nombreux essais comparatifs ont montré que la formule proposée par M. Goutal fournit des valeurs qui se rapprochent beaucoup des résultats obtenus en pratique.

Déterminations pratiques. — A côté de ces formules théoriques de

calcul existent des méthodes expérimentales et industrielles de détermination de la valeur calorifique des combustibles. La plus ancienne de ces méthodes est celle de Berthier. Puis viennent les essais calorimétriques. Enfin nous décrirons l'appareil Mahler ainsi qu'un calorimètre américain à oxygène.

Essai Berthier. — Le principe de la méthode Berthier est le suivant. Il repose sur ce fait qui découle de la loi de Welter, à savoir que la quantité de chaleur fournie par un combustible est proportionnelle à la quantité d'oyxgène qu'il peut absorber pendant sa combustion.

Pratiquement, on mesure la quantité de litharge qui sera réduite à l'état de plomb, et on en déduit le pouvoir calorifique. L'approximation est suffisante.

On mêle dans un creuset de terre 1 gramme de combustible avec 40 grammes de litharge ou mieux d'oxychlorure de plomb qui sera plus fusible. La réaction est donnée par la formule

$$C + 2\,PbO = CO^2 + 2Pb.$$

D'après cette formule, à 1 partie de carbone correspondent 2 parties de plomb, c'est-à-dire que, en prenant le rapport des poids atomiques, à 1 de carbone correspondent 34,5 de plomb. On met ainsi un excès de litharge. On ajoute enfin une couche de verre pilé de 6 millimètres d'épaisseur.

On amène le creuset à la température du rouge en ayant soin qu'il n'y ait pas de perte de plomb par volatilisation. Le creuset est bien luté. On chauffe progressivement au four à vent, puis on donne un coup de feu. L'opération terminée, et après refroidissement, on casse le creuset et l'on pèse le culot de plomb.

Pour éviter les erreurs de pesée, on opère en double, et les écarts de poids ne doivent pas varier de plus de $0^{gr},100$.

Si p est le poids trouvé, $\frac{p}{34,5}$ représentera la quantité de carbone contenue dans la houille. Pour avoir le pouvoir calorifique il faudra multiplier par 8080. Or

$$\frac{p}{34,5} \times 8080 = p \times 234.$$

Pratiquement on multiplie donc par 234 le poids trouvé pour avoir le nombre de calories.

Essais calorimétriques. — Quand on fait la détermination du pouvoir calorifique par la calorimétrie, on opère sur des quantités plus grandes de combustible, sur 1.000 ou 2.000 kilogrammes. L'essai est alors vraiment industriel et d'autant plus exact.

Les calorimètres employés seront ceux qui sont décrits dans tous les traités de physique : calorimètre à glace, calorimètre Rumford, calorimètre Fabre et Silbermann, calorimètre Berthelot.

Calorimètre Thompson. — Nous parlerons plus spécialement du calorimètre Thompson, parce qu'il est assez employé en Angleterre.

Pour déterminer le pouvoir calorifique avec cet appareil, on prend 2 grammes de matière réduite en poudre fine et desséchée et on les additionne de 26 grammes d'un mélange formé de 3 parties de chlorate de potassium et de 1 partie d'azotate de potassium. Avec une spatule flexible en acier, on introduit le mélange par petites quantités dans un cylindre en cuivre et l'on comprime bien régulièrement. En dernier lieu, on place une petite mèche formée de coton et imbibée de salpêtre. Le cylindre est mis sur un support et entouré d'un condenseur qui repose sur le même support. Le tout est placé dans une éprouvette préalablement remplie avec 2 litres d'eau.

On attend que l'équilibre de température de l'eau se soit bien établi avec la chaleur de la salle. On met le feu à la mèche. La combustion dure 60 secondes en général. On agite l'eau de l'appareil de bas en haut avec un fil de fer pour bien noter la température.

D'après l'élévation de température on déduit le nombre de calories. Si, par exemple, 2 grammes d'échantillon ont élevé de 8°,04 les deux litres d'eau, c'est que le pouvoir calorifique de la houille est de 8040 calories.

Appareil Mahler. — M. Mahler, ingénieur civil des mines, a imaginé une bombe calorimétrique qui donne une approximation plus grande que les autres méthodes pour la détermination du pouvoir calorifique.

Le principe de l'appareil est celui-ci. Dans une bombe à parois résistantes, on place le combustible et on brûle ce combustible au moyen d'oxygène sous pression. La chaleur de combustion est transmise sans déperdition à l'eau d'un calorimètre. L'opération terminée, on ouvre la bombe et on constate que la combustion a été complète en n'y trouvant que de l'eau et de l'acide carbonique.

La bombe en acier de 8 millimètres d'épaisseur a un volume de 654 centimètres cubes et pèse 4 kilogrammes. Elle est émaillée

extérieurement au moyen d'une couche d'enduit pesant 20 grammes, ce qui permet de conserver d'autant mieux l'appareil.

La bombe est fermée par un bouchon en fer, à vis, qui vient serrer une bague en plomb enchâssée dans une rainure circulaire. Le bouchon porte un robinet à vis conique pour l'introduction de l'oxygène.

A l'intérieur de la bombe le combustible est placé dans une capsule. Un fil de fer en spirale, rougi par le courant électrique, communique l'inflammation au combustible.

Le calorimètre en laiton mince est de forte capacité et peut recevoir une grande quantité d'eau.

Le tube à oxygène renferme 1.200 litres d'oxygène comprimé à 120 atmosphères. Cet oxygène doit être exempt d'acide carbonique et ne contenir comme impureté que 5 à 10 0/0 d'azote.

L'opération se conduit comme suit. On pèse 1 gramme de substance qu'on place dans la capsule. On fait passer le courant d'oxygène jusqu'à ce qu'on ait atteint une pression de 20 ou 25 atmosphères. Il faut avoir soin d'amener le gaz lentement pour ne pas projeter le combustible hors de la capsule. On allume. Quand la combustion est terminée, on observe la température au bout d'une demi-minute, puis de minute en minute jusqu'à ce que le thermomètre commence à descendre. On note ainsi la température maximum. On continue à suivre les températures pendant cinq minutes encore, tout en faisant fonctionner lentement l'agitateur du calorimètre.

On ouvre enfin la bombe et on la lave à l'eau distillée. On dose volumétriquement l'acide azotique formé au moyen d'une dissolution de potasse titrée.

Au total l'opération dure de trente à quarante minutes.

La formule qui sert à calculer le pouvoir calorifique est la suivante :

$$Q = (\Delta + \alpha)(P + P') - (0{,}23p + 1{,}6p').$$

Δ est la différence des températures observées;

P, le poids d'eau du calorimètre;

P', l'équivalent en eau de la bombe et des accessoires;

p, le poids d'acide azotique constaté;

p', le poids de la spirale de fer;

$0^{cal},23$, la chaleur de formation de 1 gramme d'acide azotique dilué;

$1^{cal},6$, la chaleur de combustion de 1 gramme de fer.

Calorimètre Dorling. — L'appareil consiste essentiellement en un plateau de laiton muni de trois pieds et supportant en son milieu un tube de laiton qui se termine à sa partie inférieure par une chambre formée de deux disques métalliques réunis au moyen de vis. Le tout est recouvert par une cloche en verre formant joint étanche avec le plateau.

C'est dans la chambre inférieure que se place un creuset de platine avec le combustible à essayer.

On met 1 gramme ou 1 gramme 1/2 de matière à essayer dans le creuset, puis on immerge l'appareil bien clos dans un vase en verre contenant un poids connu d'eau, à une température initiale mesurée A l'aide d'un tube, on fait arriver de l'oxygène jusque sur le combustible, puis on met le feu électriquement au moyen d'un fil de platine.

Les gaz produits sortent par bulles de la cloche de verre et échauffent l'eau à leur passage.

Une fois la combustion achevée, on maintient le courant d'oxygène jusqu'à ce que la température ne s'élève plus au thermomètre, de manière à être bien sûr d'avoir expulsé tous les gaz.

L'opération dure en général de quatre à cinq minutes.

Le pouvoir calorifique du combustible se calcule par la formule calorimétrique connue.

Pour obtenir une combustion parfaite et non pas une flamme fuligineuse qui troublerait les résultats, il faut parfois mettre du kaolin sec ou de l'alumine calcinée. C'est ce qu'on doit faire notamment avec les pétroles, en formant une pâte bien homogène.

Si l'on n'a pas de courant électrique, on peut brûler du soufre en poudre ; mais il faudra tenir compte du pouvoir calorifique supplémentaire développé par le soufre.

Calorimètre américain. — Comme dernier appareil servant à la détermination du pouvoir calorifique des combustibles, nous décrirons un calorimètre à oxygène, qui a été construit par M. Chapman, chef électricien de la North Chicago Street Railroad C°.

L'appareil se compose d'un récipient étanche communiquant avec un tube muni de robinets et d'un entonnoir, ce qui permet à volonté d'emplir ou de vider le récipient. Celui-ci communique également avec un tube ouvert en verre ; ce tube a une longueur d'au moins $0^m,50$. Parallèlement se trouve une échelle graduée verticale. A l'intérieur du récipient est une bombe ou cornue fermée, à travers laquelle passe un tampon métallique supportant le petit récipient à combus-

tible. La partie inférieure de la bombe est reliée par un tube à une source d'oxygène ; l'air refoulé par ce gaz peut s'échapper par un tube de dégagement.

Le fonctionnement de l'appareil est le suivant : on place, dans le petit récipient à combustible, le charbon à examiner ; puis, on plonge dans ce dernier un fil de platine qui peut être mis en relation avec une source d'électricité. On visse ensuite le tampon qui ferme la bombe, et on remplit d'eau le récipient jusqu'à ce que l'eau atteigne approximativement le zéro de l'échelle graduée. On laisse l'eau prendre, aussi exactement que possible, la température ambiante, indiquée par un thermomètre, et on fait pénétrer dans la bombe de l'oxygène jusqu'à ce que la pression de ce gaz atteigne une valeur déterminée.

Lorsque la température est devenue stable et uniforme, on fait passer le courant dans le fil de platine ; le combustible s'enflamme et brûle rapidement aux dépens de l'oxygène.

Sous l'action de la chaleur, la bombe se dilate et refoule le liquide du récipient dans le tube ouvert en verre ; on note le point extrême atteint par le liquide sur l'échelle graduée. Comme on a noté sa position initiale, la différence des deux lectures, comparée à celle que l'on obtient par la combustion du graphite, ou du charbon de bois pur, permet d'apprécier la valeur du combustible essayé.

Cet appareil, assez simple, est d'une exactitude très suffisante.

Comparaison des méthodes diverses. — Le procédé de détermination directe au moyen de la bombe Mahler est celui qui se rapproche le plus de l'utilisation réelle du combustible ; il est rapide et précis ; il exige l'emploi d'un appareil dont le prix est abordable aux industriels.

Le procédé Berthier ne peut pas donner des résultats scientifiquement exacts ; le chiffre obtenu par le calcul, en partant du poids de plomb réduit, est trop faible dans le cas des combustibles très hydrogénés et trop élevé dans le cas contraire.

Parmi les formules qui s'appuient sur l'analyse immédiate, celle de M. Goutal donne des résultats intéressants et suffisamment approchés, surtout pour les houilles à moins de 35 0/0 de matières volatiles.

Enfin, les formules basées sur l'analyse élémentaire peuvent fournir des indications précises sur le pouvoir calorifique des combustibles ; malheureusement, on n'obtient les données nécessaires au

calcul de ces formules qu'au prix d'un travail fort long et assez délicat.

On peut pourtant calculer très approximativement le pouvoir calorifique d'une houille de composition donnée, en suivant les indications données par MM. Scheurer-Kestner et Meunier. En admettant que le carbone fixe dégage $8^{cal},70$ par gramme et celui des hydrocarbures $8^{cal},08$, on augmentera de 9 calories 0/0 la chaleur de combustion du carbone contenu dans le coke. Le chiffre obtenu sera très voisin de la vérité.

En résumé, pour les déterminations très précises, on donnera la préférence au procédé calorimétrique (bombe Mahler).

On appliquera la formule de M. Goutal pour les houilles dont on aura fait l'analyse immédiate.

Il existe d'ailleurs divers établissements qui peuvent donner aux industriels des renseignements sur le pouvoir calorifique des combustibles qu'ils emploient et contrôler ce pouvoir calorifique. L'Association des propriétaires à vapeur de Magdebourg, en Allemagne, est notamment bien outillée à ce point de vue.

Pouvoirs rayonnant et vaporisateur. — Du pouvoir calorifique dépendent directement le *pouvoir rayonnant* d'abord, le *pouvoir vaporisateur* ensuite.

Le *pouvoir rayonnant* d'un combustible est la quantité de chaleur émise directement dans tous les sens pendant toute la durée de la combustion complète de 1 kilogramme de ce combustible. On fait abstraction de la chaleur enlevée par la circulation des gaz chauds. Ceux-ci ne transportent la chaleur que dans un seul sens, qui est celui de leur mouvement.

Une houille grasse, douée d'un pouvoir calorifique de 8.500 calories, aura un pouvoir rayonnant de 4.400 calories. Une houille de qualité moyenne, correspondant à un pouvoir calorifique de 7.500 calories, donnera 4.000 calories en pouvoir rayonnant.

Le *pouvoir vaporisateur* d'un combustible est la quantité d'eau que peut vaporiser 1 kilogramme de ce combustible en brûlant à l'air libre sur la grille d'une chaudière.

Il serait fonction, d'après Rankine, des quantités de carbone (C), d'hydrogène (H) et d'oxygène (O) renfermées dans la houille, ainsi que l'indique la formule suivante :

$$P = 15C + 64H - 8O.$$

En admettant qu'il faille 650 calories pour vaporiser 1 kilogramme d'eau, une houille ayant un pouvoir calorifique moyen de 7.500 calories vaporisera :

$$\frac{7500}{650} = 11^{kg},53 \text{ d'eau.}$$

En réalité, on ne dépasse jamais 9 kilogrammes, quelle que soit l'habileté des chauffeurs ou la perfection des chaudières employées.

Il est vrai de dire que toutes les calories produites ne concourent pas à la formation de la vapeur, et qu'il y a des pertes de différents côtés. Ces pertes se répartissent comme il suit :

Calories utilisées pour la formation de la vapeur		60,5
Calories emportées	par les gaz de la combustion	5,5
	par les gaz combustibles	5,0
	par la vapeur d'eau formée	2,5
	par la suie	0,5
Calories conservées par le charbon restant dans les cendres		1,5
Calories perdues par rayonnement		24,5

Les pertes de chaleur dans l'atmosphère peuvent se calculer par la formule suivante :

$$\text{Perte par la cheminée} = \frac{1 + A}{2222} + T,$$

où 1 + A représente le poids de gaz brûlés par unité de poids du combustible et T la différence de température entre les gaz de la cheminée et l'atmosphère. Pour les houilles ordinaires, 1 + A varie de 13 à 25.

Les deux tiers à peine des calories concourent, par conséquent, à la formation de la vapeur.

Le pouvoir vaporisateur d'une houille n'est pas une donnée parfaite ni fixe comme le pouvoir calorifique. A cela, il y a plusieurs raisons.

Tout d'abord la donnée théorique des 650 calories nécessaires pour vaporiser 1 kilogramme d'eau est une simple hypothèse.

En second lieu, un même combustible ne donne pas les mêmes résultats dans des chaudières de type entièrement différent.

Enfin, tout dépend du coup de main du chauffeur; avec le même

combustible et des chauffeurs plus ou moins habiles, on peut obtenir des résultats entièrement divergents.

On peut faire expérimentalement dans une même chaudière des essais comparatifs du pouvoir vaporisateur d'un même combustible. On opère de la manière suivante :

On pèse le charbon à chaque chargement, on pèse également la quantité d'eau d'alimentation en notant exactement sa température ; on observe l'épaisseur moyenne du feu sur le foyer, la méthode de chargement, mécanique ou non, le mode de soufflage du foyer.

Au bout d'un certain temps de marche, on prend alors les températures de l'air extérieur, des gaz à leur entrée dans la cheminée, de l'eau à son entrée dans la chaudière, enfin des parois du foyer.

On mesure la pression de la vapeur. On note les kilogrammes de vapeur débités chaque dix minutes et concurremment les kilogrammes d'eau condensée.

En fin d'opération, on pèse les mâchefers sortis par décrassage, les cendres tombées dans le cendrier, et on note la quantité de charbon non brûlé dans ces mâchefers et dans ces cendres.

On peut compléter l'expérience en analysant les gaz (proportions d'acide carbonique, d'oxyde de carbone, d'oxygène, d'hydrogène et d'hydrocarbures) et en observant la nature de la fumée à l'échelle Ringelmann, ce qui donne la quantité de carbone non brûlé et se perdant dans l'atmosphère.

Pouvoir cokéfiant. — Le pouvoir cokéfiant d'une houille, c'est-à-dire la propriété qu'elle a de donner un coke dur et solide est nécessaire à déterminer pour les métallurgistes. Pour définir ce pouvoir, on fait l'essai suivant d'après des indications données par M. Richters et reprises par M. Campredon.

On opère sur de la houille finement pulvérisée, passée au tamis de 400 mailles par centimètre carré. On prend ensuite du sable sec passant à travers le tamis à 100 mailles par centimètre carré et restant sur le tamis à 400 mailles par centimètre carré. On mélange à un poids constant de houille (2 grammes par exemple) des poids variables de sable, et l'on chauffe au rouge vif dans des petits creusets de porcelaine, de façon à carboniser la houille.

Après refroidissement on observe l'aspect du produit chauffé, et l'on trouve une poudre sans consistance ou bien un culot plus ou moins dur.

Il est facile de déterminer le poids maximum de sable qu'une

houille peut agglomérer par carbonisation, de manière à donner encore un culot solide.

Le poids de la houille étant pris pour unité, son pouvoir cokéfiant sera représenté par le poids de sable aggloméré.

En opérant sur diverses catégories de houilles, on est arrivé aux résultats qu'indique le tableau suivant :

Nos	DÉSIGNATION	ANALYSE IMMÉDIATE			POUVOIR COKÉFIANT
		MATIÈRES volatiles	CENDRES	CARBONE fixe	
1	Houille tout-venant, mine Aberdare Merthyr (Pays de Galles)	10,90	6,20	82,90	0
2	Houille tout-venant (bassin de New-castle)	34,25	10,80	54,95	2
3	Houille tout-venant d'Écosse	34,72	8,35	56,93	4
4	Houille menue à coke (Cardiff)	19,80	7,70	72,50	6
5	Houille tout-venant de Lens (Pas-de-Calais)	27,20	8,70	64,10	13
5 *bis*	Échantillon n° 5 oxydé par chauffage à 100° pendant un an	28,12	8,55	63,33	0
6	Houille menue à coke (bassin de New-castle)	27,83	8,75	63,42	14
7	Houille menue à coke (bassin de New-castle)	29,50	8,50	62,00	17
8	Brai sec de Beckton	44,82	0,60	54,58	20

On voit par là que l'essai du pouvoir cokéfiant d'une houille est absolument spécifique et sera toujours bon à faire après l'analyse immédiate du combustible.

Cet essai présente d'autant plus d'intérêt qu'il est assez difficile de donner une règle générale pour la facilité que les houilles présentent à donner du coke. On a dit que la propriété de coller était due à un excès de carbone et à une réduction dans la teneur en hydrogène et surtout en oxygène.

Mais cette règle apparente disparaît devant de nombreuses exceptions, et des houilles possédant des propriétés très différentes présentent souvent une proportion de carbone identique. Ainsi on a trouvé :

Pour une houille très collante...... 86,4 de carbone.
Pour une houille maigre........... 85,8 —

De même, on constate :

Pour une houille se boursouflant....	79,4 de carbone.
Pour une houille assez maigre......	79,9 —

D'autre part, dans des essais faits sur les houilles de Newcastle, on a trouvé, pour 100 de carbone :

Dans trois houilles collantes.	Hydrogène..	5,49	5,85	5,91	»
	Oxygène....	10,86	14,52	18,07	»
Dans deux houilles non collantes.	Hydrogène..	4,75	4,45	»	»
	Oxygène....	5,28	7,36	»	»
Et, d'autre part, avec quatre houilles non collantes.	Hydrogène..	6,34	6,12	6,4	5,99
	Oxygène....	21,15	21,13	22,55	23,42

On voit que les houilles non collantes, au point de vue de la teneur en hydrogène et en oxygène, présentent entre elles des différences au moins aussi marquées que les houilles collantes.

Il semble également difficile d'admettre la théorie, en vertu de laquelle les propriétés cokéfiantes des houilles seraient dues à l'excès d'hydrogène qu'elles renferment. (Il faut entendre l'hydrogène non combiné avec l'oxygène, l'hydrogène disponible.)

Dans quelques cas, la propriété de coller plus ou moins varie, pour une même houille, d'après la manière dont on la chauffe. Ainsi les houilles du sud du Staffordshire, dans les conditions ordinaires, ne sont pas collantes. Mais si on les expose rapidement à une haute température dans des vases fermés, elles produisent un coke résistant et de bonne qualité.

La proportion d'eau influe aussi sur les propriétés agglutinantes. Il en est de même de la teneur en cendres. Ce n'est donc qu'après avoir pratiqué un essai industriel de cokéification qu'on peut réellement connaître une houille.

Étude radiographique. — Le diamant et le bois sont perméables aux rayons X. Il était donc à présumer que les combustibles seraient traversés par les rayons Röntgen. Les silicates, au contraire, ne laissent pas passer les rayons. Il devait en être de même des schistes houillers et des grès houillers qui forment en grande partie les cendres des charbons, surtout des charbons dits *barrés*.

Ces deux principes ont présidé à l'étude analytique des combus-

tibles qu'a faite par ce moyen M. Couriot, professeur d'exploitation des mines à l'École Centrale des Arts et Manufactures.

L'appareil servant à l'examen des combustibles se compose d'abord d'une bobine Ruhmkorff donnant des étincelles de 25 à 30 centimètres. Comme ampoule, on emploie un tube à anticathode dans lequel les rayons fournis par une cathode, en forme de miroir sphérique concave, sont concentrés sur une lame de platine formant anticathode. Enfin, on fait usage d'un écran fluorescent en carton, enduit de platinocyanure de baryum et incorporé dans du collodion à l'acétate d'amyle.

Comme plaque sensible,on choisit une plaque orthochromatique. Le temps de pose varie de trente secondes à cinq minutes, suivant la sensibilité de la plaque et l'épaisseur de l'échantillon. Avec une bobine de 40 centimètres d'étincelle et un morceau de charbon de 3 à 4 centimètres d'épaisseur, le temps de pose sera de quinze à trente secondes.

L'essai par la radiographie est de deux natures. Il consiste en un simple examen ou bien il se double d'une analyse radiométrique qui peut indiquer la proportion des cendres.

Le simple examen est surtout intéressant au point de vue géologique. Il indique les schistosités mélangées au charbon, notamment au voisinage d'un accident ou d'un crochon; il donne pour les briquettes la distribution des impuretés; il analyse un coke et y montre des taches de pyrite de fer. Pour la tourbe, on voit encore plus nettement les impuretés.

Mais, pour mieux apprécier la teneur en cendres, il faut avoir recours à la photométrie et à la radioscopie combinées.

On forme l'échantillon en porphyrisant le charbon dans un mortier; puis on place la poussière dans une caisse cubique en bois, constituée par des planchettes de 2 à 3 millimètres qui se laisseront traverser par les rayons Röntgen.

On compare le noir donné par l'échantillon avec les teintes variables fournies par des prismes à plaques d'aluminium,dont on fait varier l'épaisseur de manière à avoir des gammes décroissantes de noir.

La caisse à échantillon a la forme d'un prisme droit, sa base étant un triangle rectangle dont un des côtés est double de l'autre, l'arête la plus longue du prisme étant divisée en demi-millimètres. Les rayons rencontrent des épaisseurs croissantes de charbon, variant

de 0 à 50 centimètres, suivant la place que tient la caisse dans le plan du faisceau lumineux. Sur la face plate de l'arête la plus longue est placé un carton fluorescent divisé aussi en demi-millimètres. On fait passer sur la face opposée un fil de plomb et on examine le point où l'on cesse de voir le fil. La distance comptée depuis le sommet du prisme au point où le fil cesse d'être visible, donne la pureté du charbon à un demi-millième près.

On peut former des tableaux et obtenir, par comparaison avec un étalon, la teneur en cendres d'un combustible.

CHAPITRE III

SORTAGE DE LA HOUILLE

Catégories. — Concassage. — Appareils verseurs. — *Criblage. — Grilles fixes. — Grilles mobiles.* — Grille Briart. — Grille Brice. — Grille Biernaux. — *Appareils à secousses.*— Table à secousses.— Crible à tôles superposées. — Cribles oscillants. — Crible Coxe. — Crible Karlick. — Crible Worby Beaumont. — *Trommels.* — Changement des tôles. — Distributeurs. — *Triage.* — Triage mécanique. — Désintégrateur-épurateur Sottiaux. — Reconstitution. — Appareils de chargement. — Prix de revient. — Exemple d'installation.

La difficulté chaque jour croissante de la vente des charbons, la concurrence étrangère qui introduit sur le marché des charbons souvent plus purs, la nécessité enfin où sont les industriels de n'employer que des houilles peu cendreuses pour obtenir de leurs appareils à vapeur le meilleur rendement possible, appellent de plus en plus l'attention des exploitants de mines sur le nettoyage des combustibles et les forcent, dans la plupart des pays, à établir des installations plus ou moins perfectionnées de criblage mécanique.

En Amérique, où la main-d'œuvre est réduite au minimum vu sa cherté, on trouve des installations intéressantes au point de vue mécanique. En Angleterre, bien que les charbons extraits soient débarrassés en général des impuretés qu'on laisse dans la mine, il y a quelques dispositions sommaires de calibrage. En France, en Belgique et en Allemagne où les charbons sont plus impurs, les ateliers de criblage sont des mieux installés. Enfin, en Russie, on commence à ne plus vendre le tout-venant tel qu'il sort de la mine et on a déjà commencé à trier les charbons, à en expulser les schistes.

Catégories. — Nous indiquerons les dimensions les plus ordinaires de calibrage des charbons et dirons quelle est l'échelle de ces dimensions suivant les catégories de combustibles.

L'échelle-type, et en même temps celle qui est la plus simple, est

une progression de raison géométrique, ainsi qu'il suit : 0 à 5 millimètres, 5 à 15, 15 à 45 millimètres.

A cette échelle plutôt un peu simple, on peut en substituer une autre plus complète qui sera plus favorable à une bonne séparation des produits. Cette échelle sera : 0 à 5 millimètres, 5 à 15, 15 à 30, 30 à 40, 40 à 60 millimètres.

Selon les catégories de charbons on restreint ou on agrandit cette échelle, et dans le bassin franco-belge on admet les catégories suivantes, selon que les charbons sont gras, demi-gras ou maigres.

Pour les charbons gras, les premières catégories vont de 0 à 6 ou de 0 à 8 et 8 millimètres et 1/2. Au-dessus on crible de 8 à 15 ou de 8 et 1/2 à 20. La catégorie suivante est celle des charbons de 10 à 25 ou de 15 à 22. Puis, viennent les catégories de 20 à 40, 25 à 55 ou 25 à 60. Enfin, les houilles de 60 à 150 millimètres, et même plus.

Pour les charbons demi-gras, les classifications sont plus nombreuses. Comme fines, on fait des catégories : 0 à 8, 0 à 10, 0 à 25, 0 à 30 et même 0 à 50. Les produits immédiatement supérieurs sont 3 à 6, 4 à 8, 6 à 10, 4 à 15 millimètres. Puis, viennent des catégories de 8 à 15, 8 à 18, 10 à 20, 10 à 25, 10 à 30. Au-dessus sont les charbons de 15 à 25, 18 à 30, 20 à 30. Les dernières classifications présentent de plus grands écarts et se décomposent ainsi qu'il suit : 25 à 40, 40 à 60, 40 à 75, 50 à 80, 60 à 150 et 80 à 160 millimètres.

Pour les charbons maigres les catégories, soit inférieures, soit supérieures, sont les plus nombreuses. On fait des fines de 0 à 3, 0 à 5, 0 à 8, 0 à 50, des produits immédiatement supérieurs de 5 à 10, 6 à 12, 5 à 15, 8 à 15, 8 à 20. Les produits moyens sont les charbons de 10 à 15, 15 à 22, 15 à 25, 18 à 30. Puis viennent les produits supérieurs de 20 à 45, 22 à 50, 25 à 50, 30 à 50, 50 à 60, 50 à 100, 60 à 150, 75 à 150, 80 à 150.

En somme, plus les charbons s'adressent à la petite industrie, et plus les catégorisations deviennent nombreuses. Ceci résulte du fait qu'en poussant plus loin la classification d'un combustible on obtient un triage plus complet, une épuration plus satisfaisante des matières étrangères.

Concassage. — Pour certains charbons, pour les houilles maigres, pour les houilles barrées, pour les anthracites, il y a lieu le plus souvent d'effectuer un concassage préliminaire qui rendra le triage plus

facile ou la vente des produits plus rémunératrice. Le calibrage des produits à la même dimension facilite en effet la combustion et permet de mieux éliminer les parties schisteuses qui sont toujours mélangées aux charbons.

Le concassage se fait à la main ou bien mécaniquement.

Le concassage à la main est analogue au *scheidage* ou séparation des minerais de leurs gangues. Des filles ou bien de jeunes garçons font à l'aide d'un marteau des *têtes de moineaux*, c'est-à-dire des charbons à 100 ou 120 millimètres qu'ils découpent dans de gros morceaux d'anthracite. En même temps, quand les charbons sont *barrés*, c'est-à-dire mélangés de schistes, on peut enlever ainsi les parties schisteuses et le concassage à la main devient une méthode de triage.

Ce concassage coûte cher, quelque faibles que soient les salaires payés aux filles ou aux jeunes garçons qui y sont employés, et il est peu productif. En revanche, il présente l'avantage de donner peu de déchets, 14 à 18 0/0 en général.

Si l'on veut concasser de grandes quantités de houille, il faut employer des appareils mécaniques, mais on connaît peu de types vraiment pratiques de concasseurs.

On mettra par exemple les charbons sur une sole tournante au-dessus de laquelle se trouvent des cylindres animés d'un mouvement de rotation. Ces cylindres sont descendus progressivement de manière à diminuer peu à peu la grosseur des charbons par le frottement des dents dont ils sont pourvus. Un appareil de telle nature produit peu.

On emploiera de préférence un cône garni de dents le long de ses génératrices et tournant à l'intérieur d'une trémie de forme conique munie de saillies. A l'extrémité de la trémie est une couronne circulaire, garnie de dents, les unes fixes, les autres mobiles. Ces dernières peuvent être rapprochées plus ou moins de l'axe de manière à concasser des morceaux de grosseur différente.

Cet appareil servira de dégrossisseur, et celui qui a été décrit plus haut de finisseur. Le déchet qu'on obtient est parfois de 35 0/0. Aussi a-t-on avantage à opérer le cassage à la main, quand la production ne doit pas être trop considérable.

En Amérique, dans le bassin de Pennsylvanie, on emploie un concasseur composé de deux pignons en fonte trempée dont la distance respective peut être réglée suivant la dureté du

charbon à broyer. Avec ces pignons on obtient une proportion de déchet moindre qu'avec les broyeurs à dents, ce qui est assez aisé à comprendre.

Ce concasseur (*breaker*), qui est employé aux mines de Drifton (Pennsylvanie), et qui est décrit par M. l'ingénieur des mines Leproux[1], donnerait les catégories suivantes d'anthracite et les proportions suivantes de ces catégories.

Morceaux	0,80	0/0
Bateau à vapeur	4,36	—
Cassé	16,10	—
Œufs	16,01	—
Poêle	12,04	—
Noix (*Nuts*)	11,43	—
Pois (*Peas*)	9,42	—
Grain de blé (*Buckwheat*) n° 1	7,57	—
— — n° 2	6,55	—
— — n° 3	6,69	—

Appareils verseurs. — L'appareil verseur le plus simple est celui où l'on bascule en bout le wagonnet. Si ce wagonnet, comme cela arrive souvent en Angleterre, est muni de portes mobiles à ses extrémités, il suffit d'avoir une plaque oscillante qui s'abaisse de 40°. Le charbon glisse par la porte ouverte du wagonnet, mais il tombe, en général, tumultueusement et avec fracas, ce qui est nuisible à sa conservation à l'état de grains.

Au lieu d'une plaque supportant le wagonnet et oscillant d'un certain nombre de degrés, on peut employer un culbuteur faisant autour de son axe une révolution complète. Pour réaliser ce mouvement, la disposition est telle que le wagonnet plein aura son centre de gravité un peu au-dessus de son axe de rotation, ce qui le met en équilibre instable. Quand le wagonnet est vide, le centre de gravité se trouve ramené au-dessous de l'axe et le basculeur reprend sa position primitive. L'appareil est brutal et brise le charbon en donnant un nuage considérable de poussière. Il est en revanche peu coûteux d'installation et n'exige aucun organe mécanique pour sa mise en route.

Dans un basculeur de système anglais et d'un principe analogue à celui qui vient d'être décrit, on a cherché à éviter le bris du charbon et à réaliser les conditions suivantes qui répondent à ce desideratum :

1. *Bulletin de l'Industrie minérale*, 3e série, tome VIII.

1° Régler le régime de la décharge au moyen d'un frein approprié;

2° Décharger le charbon dans le sens de la grille;

3° N'abandonner le charbon que lorsqu'il arrive au contact de la grille;

4° L'étaler complètement avant son arrivée sur la grille.

A cet effet, le charbon est retenu par une trappe placée à la partie supérieure du culbuteur (*fig.* 2). On règle le mouvement de bascule au moyen d'un frein. Le charbon arrive ainsi doucement dans le sens de la grille. L'appareil revient de lui-même en arrière.

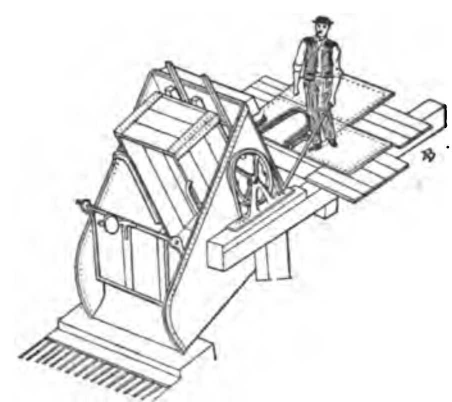


Fig. 2. — Appareil verseur oscillant.

Quelque ingénieux que puisse être ce dispositif, on préfère et on adopte partout le verseur mécanique ou basculeur circulaire.

En principe, ce basculeur se compose d'une cage cylindrique,

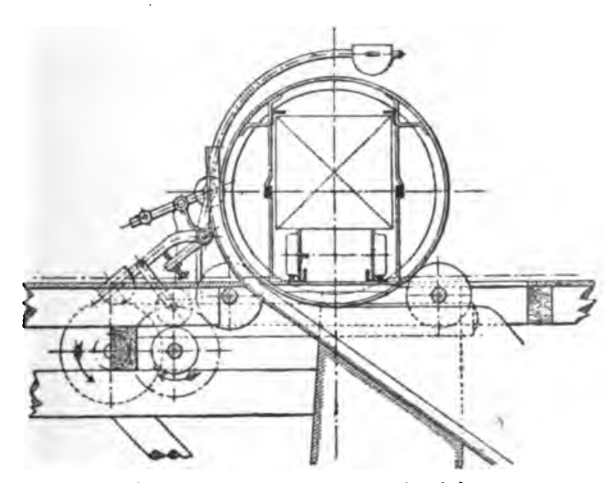


Fig. 3. — Appareil verseur circulaire.

à axe horizontal, qui reçoit le wagonnet et le contient entièrement, car elle est de dimension supérieure à ce wagonnet (*fig.* 3).

La cage est constituée par deux couronnes reliées l'une à l'autre et supportées par des galets montés sur des arbres parallèles. L'un de ces arbres communiquera le mouvement et fera tourner le système.

On peut ainsi verser le charbon aussi doucement qu'on veut et sans s'exposer à trop de bris, ni à la formation d'une trop grande quantité de menus. L'embrayage qui communique le mouvement présente diverses dispositions : galet de friction, frein à vis, embrayage Mégy. L'appareil revient de lui-même à sa position primitive, dès que le wagonnet a été complètement vidé. Souvent on emploie un dispositif retardateur du mouvement, de manière que l'appareil démarre à vitesse moyenne et que le mouvement se ralentisse jusqu'à la décharge complète. On arrive ainsi à briser d'autant moins le charbon.

Bien que les manœuvres soient très rapides avec ce basculeur, puisque le wagonnet peut entrer d'un côté et sortir de l'autre, il est souvent nécessaire d'en augmenter encore le débit. A cet effet on pourra placer plusieurs wagonnets sur le même basculeur. Dans les puits à très grande production, par exemple à la fosse n° 12 des mines de Lens, on emploie des appareils verseurs pouvant recevoir et basculer à la fois quatre wagonnets.

Grand débit et faible bris des charbons, telles sont les deux qualités caractéristiques du basculeur circulaire.

Criblage. — Dès que le charbon a été basculé, on commencera la première des opérations de la préparation mécanique des charbons. Cette opération est celle du *criblage*, c'est-à-dire la séparation des combustibles en morceaux de la même grosseur. Elle sera de nature à faciliter la seconde opération, le *triage*, c'est-à-dire l'épuration et le nettoyage des produits calibrés.

Le criblage s'opère avec cinq appareils différents, qui sont les suivants :

1° Grilles fixes ;
2° Grilles mobiles ;
3° Tables à secousse ;
4° Cribles oscillants ;
5° Trommels.

Grilles fixes. — Les grilles fixes sont les appareils les plus anciens. Ce sont aussi les plus simples.

Elles se composent de barreaux longitudinaux dont l'écartement et la section doivent être étudiées d'une manière spéciale.

Les barreaux pleins en fonte ne permettent pas toujours aux matières de passer automatiquement. Il faut débourrer fréquemment la grille. Une meilleure forme de barreaux est celle de la figure 4. Ces barreaux étant en acier, l'usure est moins grande, et le dégagement des matières s'y fait aisément.

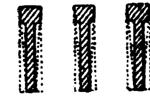


Fig. 4. — Forme des barreaux de grilles de criblage.

L'écartement des barreaux varie avec la nature des charbons à classer. Ces barreaux ne doivent pas être établis en files uniquement parallèles. Il peut arriver, en effet, qu'une pierre plate et lisse soit entraînée par les charbons et glisse dans une rainure sans la traverser. On dispose donc de place en place des barres transversales qui arrêtent la pierre et qui, l'obligeant à sauter, la forcent à se séparer des menus qui y adhèrent.

Un autre inconvénient est que des mottes de charbon peuvent emporter des fines avec elles. Pour éviter cet inconvénient, on fait en sorte que les charbons tombent d'une faible hauteur en tête de la grille. On opère ainsi une meilleure division des combustibles.

L'inclinaison des grilles doit être telle que les charbons puissent glisser automatiquement sans que l'ouvrier prenne une râclette pour les faire descendre et cela quel que soit le degré d'humidité.

La rouille des barreaux retardera le glissement. Aussi, le matin, le contenu des premiers wagonnets de charbon versés a-t-il plus de peine à gagner le bas de la grille.

Pour éviter l'engorgement des grilles on a proposé en Amérique de monter les barreaux en porte-à-faux, de manière qu'ils ne soient maintenus qu'à une de leurs extrémités et qu'ils forment un cône allongé dont l'ouverture est dirigée vers l'avant. De cette manière l'élimination du poussier et des catégories de faible diamètre se fait progressivement et il se produit aussi moins d'intercalation des charbons entre les barreaux.

Les grilles fixes sont encore très employées en Angleterre, mais, leur débit étant faible, on doit en accoler plusieurs à côté les unes des autres.

En France, en Belgique et en Allemagne, où les installations de préparation mécanique sont plus complètes et bien comprises, les grilles fixes ne servent que comme premier appareil éliminatoire des très gros morceaux. Elles sont alors à barreaux écartés de 12 à

15 centimètres et n'ont que 1 mètre ou 1m,50 de longueur, les grosses houilles tombant facilement et rapidement au bas de la grille.

Grilles mobiles. — Pour activer la classification des charbons, qui se fait difficilement et irrégulièrement sur les grilles fixes, on a cherché à imprimer aux grilles un mouvement de va-et-vient qui puisse faciliter le tamisage des charbons.

La plus ancienne en date des grilles mobiles est la grille Briart.

Grille Briart. — Cette grille est formée de barreaux inclinés à 8 ou 10°, fixés à deux bâtis mus par des excentriques ou par des arbres coudés. Les deux séries de barreaux sont mobiles dans les derniers types créés et sont commandées par le même arbre moteur. De la sorte on obtient le même effet avec une course moitié moindre que dans le cas où une partie seulement des barreaux serait mobile.

La force nécessaire au fonctionnement d'une grille longue de 2m,50 à 3 mètres, et dont les barreaux sont écartés de 40 à 50 millimètres, est de 2 chevaux au maximum. L'effet utile est de 100 tonnes à l'heure.

Le criblage est bien net avec cette grille, car les produits sont absolument séparés de toute partie menue. La grille permet de réduire au minimum la hauteur verticale nécessaire au criblage, elle fonctionne sans bruit et ne donne pas lieu à des chocs ou à des vibrations trop considérables.

En revanche, lors du calibrage, des morceaux allongés peuvent traverser la grille et se mélanger à des morceaux beaucoup moins gros, ce qui empêche le classement d'être parfait.

En outre, l'appareil, excellent pour des charbons durs ou d'une dureté moyenne, convient moins pour des charbons friables. Il en est de même pour les catégories inférieures à 40 millimètres.

Toutefois, l'emploi de la grille Briart est assez répandu en France et en Belgique. En Amérique, on en fait également usage, mais le plus souvent les barreaux oscillent vers le centre de leur longueur, de telle sorte que l'amplitude des oscillations est plus grande dans un sens que dans l'autre et que les éléments de la grille décrivent une ellipse dont les axes auront, par exemple, 76 et 38 millimètres.

Grille Brice. — La grille Brice diffère de la grille Briart en ce sens que les barreaux, au lieu d'être groupés par rangs pairs et par rangs impairs pour être soumis aux mêmes oscillations reçoivent

tous un mouvement de soulèvement différent, ce mouvement étant donné par un arbre à coudes multiples. L'ensemble de la grille forme ainsi une surface ondulée qui facilite le classement du charbon. On évite aussi le cisaillement des charbons.

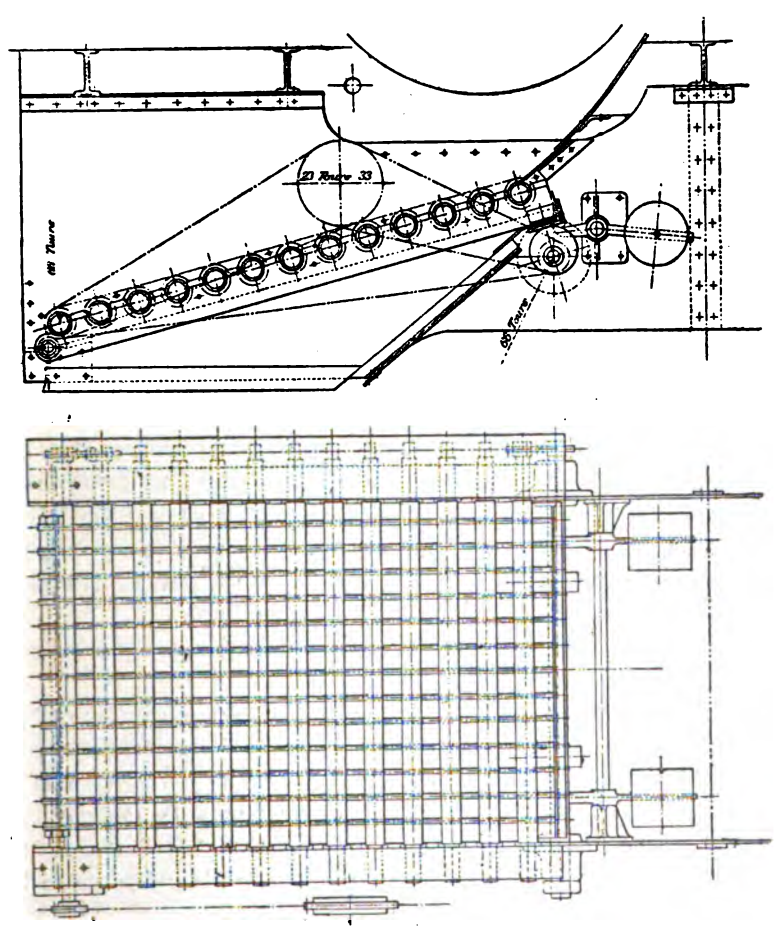


Fig. 5. — Grille mobile des mines de Béthune.

Grille Biernaux. — La grille est une chaîne sans fin constituée par une série de barreaux en fer et s'enroulant sur des tambours polygonaux.

Sur deux longerons inclinés de 17 centimètres par mètre, on disposera des rouleaux de 80 millimètres de diamètre et ménageant

entre eux un vide de 40, 60 ou 80 millimètres suivant le genre de classification adopté dans l'atelier. La chaîne formée par ces rouleaux s'enroule sur deux tambours polygonaux de 30 centimètres de rayon et écartés de $2^m,40$ d'axe en axe. Les tambours tournant à raison d'un tour et demi par minute, la chaîne se meut avec une vitesse de 55 millimètres par seconde. Deux cames secouent continuellement le système, afin de favoriser le tamisage.

La grille Biernaux a été transformée et est appliquée de la façon suivante aux mines de Béthune (*fig.* 5).

Perpendiculairement aux rouleaux, et en dessous de ceux-ci, se trouve disposée une série de barreaux plats de 160 sur 20 laissant entre eux un intervalle de 80 millimètres, par exemple. L'ensemble peut tourner autour d'un axe placé à l'extrémité inférieure des barreaux, tandis que la partie supérieure des mêmes barreaux reçoit un mouvement de haut en bas par deux excentriques cames. Le mouvement est réglé de manière que les barreaux viennent affleurer les rouleaux supérieurs, et qu'ils ne s'abaissent pas au-dessous de l'axe de ces rouleaux. C'est, en somme, une grille à trous de 80 millimètres au-dessus de laquelle le charbon est entraîné par des rouleaux. Les morceaux longs et étroits, ayant plus de 80 millimètres, ne pourront, en aucune façon, comme dans la grille Briart, traverser la grille, car ils sont retenus par les rouleaux d'abord, par les barreaux ensuite. Il ne peut pas y avoir non plus cisaillement. Enfin, l'appareil fonctionne sans choc et sans bruit.

Cette grille, comme la grille Biernaux d'ailleurs, exige une force motrice assez considérable.

Grille Distl-Susky. — Cette grille (*fig.* 5 *bis*) se compose d'une série d'arbres mobiles parallèles et munis de flasques à section de tronc de cône qui forment les barreaux de la grille. Quand les arbres tournent sous l'action d'engrenages placés de chaque côté de la grille, ils soulèvent le gros charbon et le font avancer jusqu'à l'extrémité de la grille, tandis que le fin passe entre les arbres et entre les flasques de ces arbres.

Le mécanisme de commande nécessite toute une série de roues d'angle et de pignons; mais l'usure n'en serait, paraît-il, pas très grande, parce que l'effort moteur à développer est peu considérable.

Le rendement pourrait atteindre 200 tonnes de charbon classé à l'heure.

Appareils a secousses. — Les appareils qui vont être décrits pos-

sèdent tous un mouvement de va-et-vient, soit longitudinal, soit transversal. S'ils se composent d'une seule tôle classificatrice, ce sont des tables à secousses. Si les tôles sont superposées, ce sont des cribles à secousse ou des caisses criblantes.

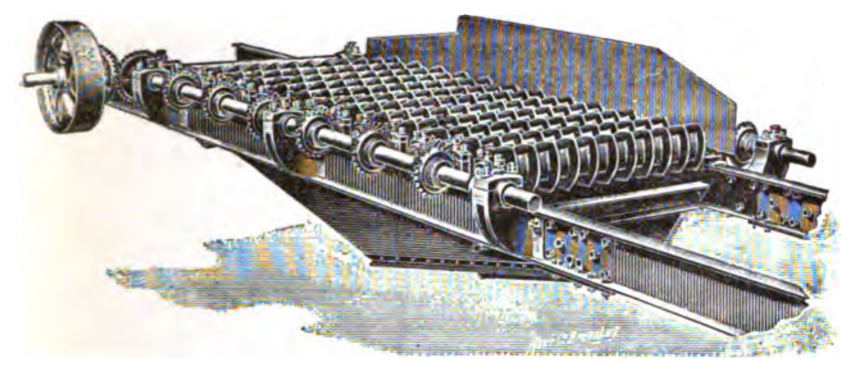


FIG. 5 *bis*. — Grille Distl-Susky.

Table à secousses. — La table à secousses est formée d'une tôle perforée à trous ronds inclinée de 4 à 10°. On donne quelquefois aux trous la forme carrée, afin de diminuer le rapport des espaces pleins aux espaces vides et d'augmenter la surface tamisante. Mais le calibrage des produits n'est pas aussi parfait, car le carré a l'inconvénient de présenter deux dimensions différentes, l'une suivant la diagonale, l'autre suivant les côtés. Aussi, dans le commerce, fait-on une distinction entre les criblés trous ronds ou trous carrés, ainsi que nous le dirons plus loin.

L'épaisseur de la tôle est de 1 à 5 millimètres suivant le diamètre des trous. Elle doit être suffisante pour résister au poids des matières à classer. Il ne faut pas avoir une épaisseur trop grande, car la table serait lourde à mettre en mouvement, et les produits pourraient se coincer si la tôle était trop épaisse.

Le mouvement longitudinal (*fig.* 6) est le plus généralement adopté. Sur la table inclinée, la grenaille descend sous l'action combinée de la pesanteur et du mouvement de va-et-vient. On classe ainsi des grains de 45 millimètres, la grille Briart convenant, au contraire, pour les dimensions supérieures.

Si le mouvement est transversal, le charbon ne descend que par l'effet de la pesanteur. Il reste ainsi plus longtemps, il parcourt toute

la largeur de la table, et l'on peut, par conséquent, diminuer la longueur de cette table sans nuire à la bonne séparation des produits. Parfois, dans ce cas, il faut diminuer les vibrations inséparables du mouvement. On emploiera à cet effet des pistons à air comprimé formant ressorts comme dans le brevet américain de James Pollock. Ces tables à mouvement transversal conviennent pour les catégories de 15 à 45 millimètres.

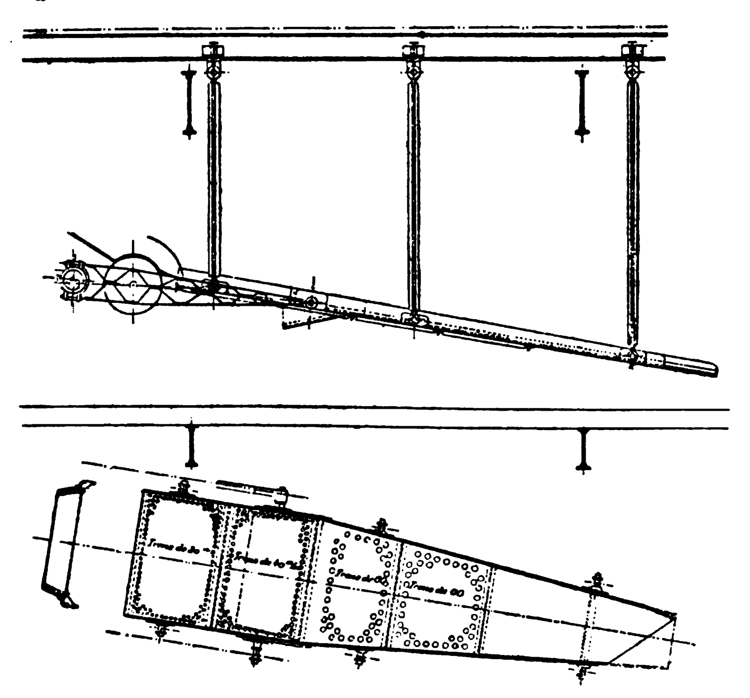


Fig. 6. — Table à secousses (élévation et plan).

Il est important de bien déterminer le nombre des secousses à la minute. Plus la table est grande, moins on donne de secousses. Mais à de grandes tables seront certainement préférables des appareils de dimensions plus restreintes donnant un grand nombre de petits coups. Le classement augmente en effet avec la vitesse. Une table de 3 mètres carrés, par exemple, sera sans grand effet pour 100 secousses de 15 à 20 centimètres, tandis qu'à 120 pulsations de même amplitude, le déplacement et, par suite, le classement des matières sera plus rapide.

Ceci s'applique à des charbons secs. Pour des charbons humides, les difficultés de classement sont plus grandes, et il vaudra mieux, en général, employer le trommel, notamment le trommel à circulation d'eau.

Une dernière amélioration qu'il est bon d'introduire dans la construction des tables, c'est de leur donner une forme curviligne pour compter la projection des grenailles charbonneuses sur les parois, et production d'une trop grande quantité de fines.

Cribles à tôles superposées.— Quand, dans la préparation mécanique des charbons, on veut réaliser un grand nombre de catégories, il vaut mieux avoir des tôles perforées superposées, plutôt que de mettre sur une même table à secousses des tôles à trou d'un diamètre décroissant. La longueur de l'appareil est moindre et le classement plus parfait, plus rapide aussi.

Les tôles superposées auront par exemple des trous de 5, 12 et 25 millimètres. Mais elles ne seront pas toutes animées de la même vitesse. Si, en effet, les produits classés diminuent successivement de diamètre, ils exigeront une vitesse croissante pour se classer à mesure que leurs dimensions se réduisent. Ainsi, les secousses, varieront, comme nombre et comme amplitude, de la manière suivante, pour les trois dimensions de tôles que nous venons d'indiquer :

	Tôle à trous de 5mm	Tôle à trous de 12mm	Tôle à trous de 25mm
Nombre de secousses latérales	160 à 180	120	100
Amplitude des secousses..	0,008 à 0,010	0,010 à 0,012	0,012 à 0,015

Pour obtenir une vitesse variable des différentes tôles, il suffit de les placer sur des cadres différents et non plus sur un cadre unique. Des tôles inclinées à 10° sur l'horizontale peuvent en dix heures classer 350 à 400 tonnes de charbon, aux dimensions 0, 5, 12, 25. Leur longueur sera de 2m,50 à 3 mètres ; leur largeur, 1m,50. Le travail se fait à sec, à condition qu'un homme nettoie de temps en temps avec un balai la surface des tôles.

La commande se fait par deux bielles attelées, d'une part, sur un arbre coudé ou sur deux excentriques et, de l'autre, reposant sur deux tourillons fixés aux longerons. La suspension a lieu par des tiges ou par des chaînes.

Le poids du crible étant assez grand et le nombre des oscillations assez considérable, il en résulte des vibrations très fortes pour le

bâti. Les inconvénients de ces vibrations se conçoivent aisément, et on a cherché à y remédier.

On place des volants très lourds sur l'arbre du crible. On forme aussi les paliers de l'arbre avec des pièces de bois dont les extrémités seules sont prises dans la maçonnerie et dont l'élasticité diminue les vibrations. Enfin on rend le crible le plus léger possible en employant des tôles assez minces. Ces dispositions sont celles qui ont été étudiées aux mines de Decize.

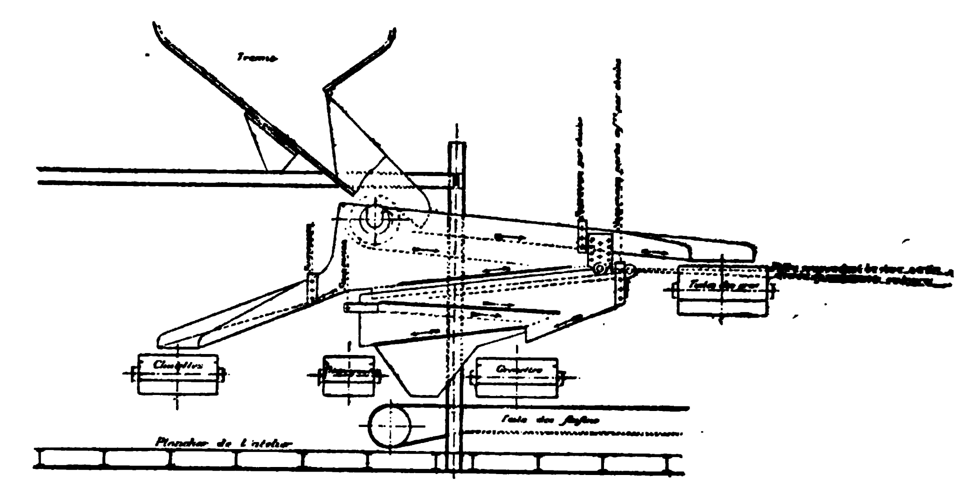


Fig. 7. — Crible à tôles superposées équilibré.

On peut aussi avoir deux cribles attelés en sens contraire sur le même arbre avec excentriques de commandes calés à 180°. Une idée similaire consistera à subdiviser le crible en deux parties suivant la hauteur (*fig.* 7), la moitié supérieure portant les premières grilles et la partie inférieure portant les autres. Chacune des parties est actionnée par des excentriques calés à 180° sur le même arbre. Cette disposition a donné de bons résultats au puits Mars des Houillères de Saint-Étienne.

Cribles oscillants. — Nous désignerons sous ce nom les appareils à mouvement giratoire ou circulaire. Les principaux représentants de ces appareils sont le crible Coxe, le crible Karlick et le crible anglais Worby Beaumont.

Crible Coxe. — Ce crible, d'invention américaine et dû à Eckley B. Coxe, est aujourd'hui assez répandu, car son débit est considé-

rable. On construit notamment des petits appareils à main de ce type qui rendent des services signalés.

La caisse criblante (*fig.* 8) formée, comme précédemment, de tôles superposées, repose sur un bâti à l'aide de quatre galets ayant la forme d'un double cône. Ces cônes, en roulant sur leurs faces, font décrire au crible une circonférence, et toutes les matières déposées sur le crible participent à ce mouvement.

L'amplitude de l'oscillation du crible, c'est-à-dire le diamètre du

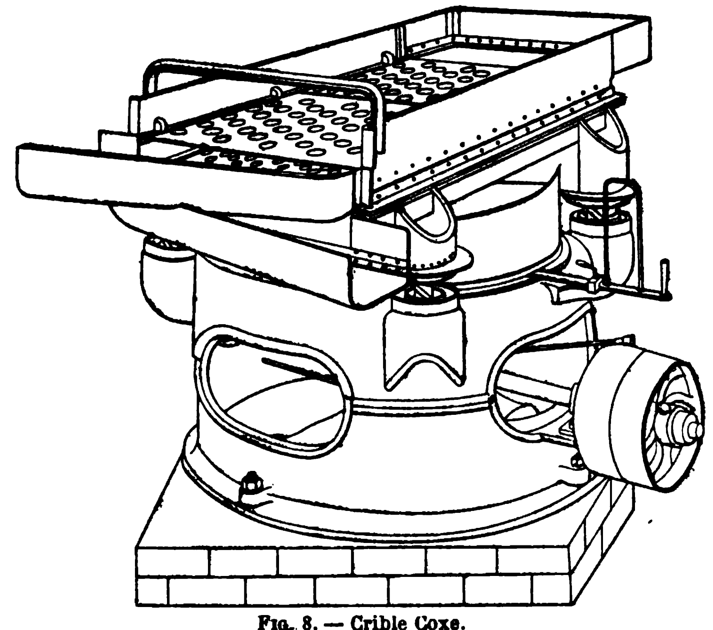


Fig. 8. — Crible Coxe.

cercle décrit par chaque point est fonction de la longueur x de l'axe des galets et de l'angle α que fait cet axe avec l'horizontale, et l'on peut écrire la relation :

$$\delta = 2x \cos \alpha,$$

où δ est le diamètre des oscillations circulaires. En général, on fixe pour δ une valeur de 100 millimètres. On choisit, d'autre part, l'angle du cône. On en déduit par suite la longueur de l'axe de ce cône.

Les galets doivent être guidés dans leur mouvement, afin de résister à l'entraînement que produirait la force centrifuge. On emploie diverses dispositions que montre la figure 9.

Il faut également résister à l'action de la force centrifuge sur l'en-

semble du crible. Dans les premières installations, on fait usage, comme pour les caisses criblantes, de contrepoids placés sur l'arbre moteur. On préfère aujourd'hui équilibrer les vibrations en accolant deux cribles jumeaux comme on accole deux caisses à secousses.

On emploie cette disposition avec quatre arbres de commande, dont deux sont placés suivant la longueur et les deux autres suivant la largeur. Les arbres placés suivant la longueur sont ceux qui communiquent le mouvement au crible. Quant aux arbres latéraux, ils reçoivent à leur tour leur mouvement des deux premiers arbres à l'aide de courroies; mais les poulies de commande de ces arbres sont munies de contrepoids de manière à contre-balancer les effets de la force centrifuge. La disposition des courroies est telle que l'une passe sur les arbres longitudinaux et sur l'un des arbres transversaux, tandis que l'autre passe sur les poulies des quatre arbres.

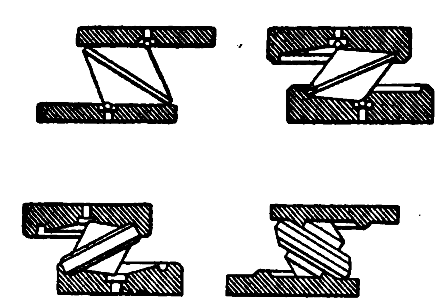


Fig. 9. — Modes divers de guidage des galets du crible Coxe.

Le crible Coxe est doué ainsi d'un mouvement parfait pour le classement des produits. Toutefois, dans le mouvement rapide de giration du crible, le charbon est projeté contre les rebords verticaux, et il en résulte un certain bris du charbon.

Le débit d'un crible Coxe est fonction de la pente des tôles, du diamètre des tours et du nombre de tours de l'arbre moteur. Un crible de dimension moyenne peut passer 25 à 50 tonnes à l'heure, la vitesse étant de 150 tours.

Crible Karlick. — Le crible Karlick a reçu un certain nombre d'applications en Allemagne.

Ce crible est, comme les précédents, formé de tôles perforées superposées. Sous chaque tôle perforée se trouve une tôle pleine qui conduit les produits classés vers la partie supérieure de la surface tamisante suivante.

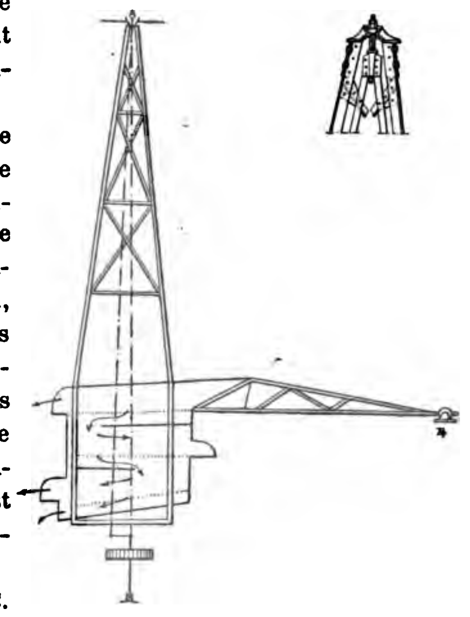
La suspension du crible se trouve en un point assez élevé, ce qui réalise en quelque sorte un mouvement pendulaire. La hauteur du châssis en fer qui supporte le crible est assez variable. En général, on adopte 8 à 10 mètres.

La figure 10 représente le mode de suspension. Il consiste en une tête de rivet traversée par une tige filetée reliée à la charpente du

crible. Un écrou permet de monter ou de descendre le caisson pour faire varier l'amplitude des oscillations.

Afin de rendre le mouvement parfaitement circulaire, une tige horizontale roulant sur un galet et glissant par frottement est placée sur le côté de l'appareil.

Un crible de 2 mètres carrés de surface traitera 35 tonnes à l'heure et nécessitera une amplitude de mouvement circulaire de 15 à 20 centimètres.



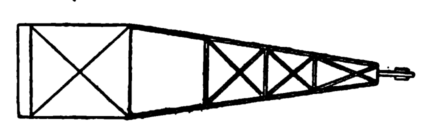


Fig. 10. — Crible Karlick.

Le crible Karlick donne un meilleur calibrage que le crible Coxe. Il est, d'ailleurs, celui qui se rapproche le mieux du mouvement réalisé dans un crible à main, puisque, en même temps qu'il tourne, il peut s'incliner successivement dans tous les sens. Mais, à cause de son installation coûteuse, son emploi ne s'est pas répandu dans la pratique.

Crible Worby Beaumont. — Ce crible est à mouvement giratoire de faible amplitude et de grande fréquence, de telle sorte qu'une ouverture se présente rapidement devant chacun des morceaux qui doivent passer au travers du crible. L'appareil est surtout destiné au triage des petites sortes de charbon.

Le crible aura $6^{m},10$ de longueur et $1^{m},50$ de largeur. Il pèse 1.300 kilogrammes. Suspendu par quatre tiges flexibles, il est actionné par un arbre muni d'une très petite manivelle. Cet arbre est relié à celui de la poulie motrice par un joint universel, les deux arbres n'étant pas dans le prolongement l'un de l'autre pour que le mouvement ne soit pas absolument uniforme. La vitesse de rotation est de 380 tours à la minute et la course 42 millimètres. On classe ainsi de 4 à 500 tonnes par journée de dix heures.

Crible Schwidtal. — Le crible Schwidtal (*fig.* 10 *bis*) est une

modification et peut-être une amélioration du crible Coxe, en ce sens qu'il donnerait moins de vibrations que celui-ci.

Les caisses filtrantes sont suspendues deux à deux à des tiges oscillantes, de telle manière que la caisse supérieure repose sur la partie supérieure de ces tiges et la caisse inférieure sur la partie inférieure des tiges. De la sorte, on tend à équilibrer le mouvement des deux tables à secousses qui composent le crible.

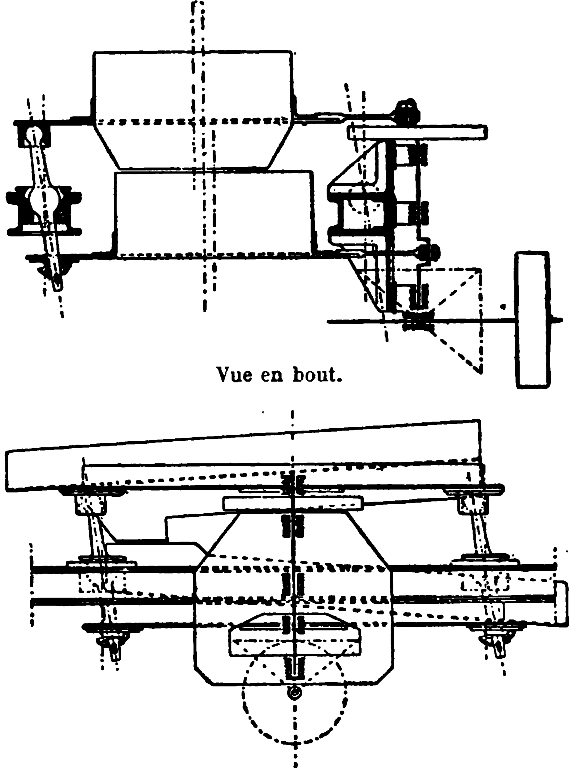


Fig. 10 *bis*. — Crible Schwidtal. — Vue par côté.

Les tiges sont suspendues en leur centre à des poutres en fer qui composent le bâti du crible. Ces poutres sont assez légères, étant donnée la compensation des mouvements de réaction. Les tiges oscillent dans des coussinets sphériques analogues quelque peu aux cônes de suspension des cribles Coxe.

Des cribles de ce système fonctionnent depuis plusieurs années en Silésie. Ils ont l'avantage d'être très légers et, à une vitesse de 125 tours à la minute, leur rendement est élevé, car on peut avoir des tôles d'un grand diamètre, étant donnée la suppression partielle des vibrations.

Crible sasseur Ratel Tabard—Cet appareil est une caisse filtrante d'une nature spéciale et présentant sur ses semblables quelques avantages particuliers. L'inclinaison des tôles perforées n'est pas la même pour toutes les catégories de charbon ; elle est plus faible pour les gros et plus grande pour les fins, ce qui est assez rationnel, puisque l'évacuation des produits se fera aussi vite pour l'une et pour

l'autre des catégories. D'autre part, la longueur des tôles est croissante avec la diminution de grosseur des grains, ce qui permet de voir les tôles inférieures et de suivre les opérations sur toutes les tôles à la fois. Les produits classés s'échappent par des couloirs latéraux.

Le mouvement est constitué par deux composantes, l'une verticale, l'autre transversale, ces deux composantes fonctionnant simultanément ou bien pouvant être rendues indépendantes l'une de l'autre.

Une came fixée sur l'arbre moteur imprime à l'appareil le mouvement de bas en haut, le crible retombant de son propre poids sur un butoir muni de rondelles en caoutchouc.

L'arbre moteur communique par engrenage le mouvement à un arbre parallèle muni de cames ou d'excentriques. On peut à volonté :

1° Supprimer les secousses latérales par déclenchement de l'engrenage;

2° Produire deux secousses latérales pour une secousse perpendiculaire en prenant des engrenages égaux ;

3° Enfin produire un nombre quelconque de secousses en prenant des engrenages inégaux et en donnant à la came un nombre quelconque de bossages.

On règle ainsi l'appareil pour les diverses catégories de charbon. Une fois réglé, il continue automatiquement son classement.

Jusqu'ici cet appareil n'est encore que dans la période d'expérimentation, mais il était intéressant de le signaler, étant donnée l'originalité de son principe.

Trommels. — Le trommel, très employé dans les usines de lavage, l'est beaucoup moins dans les ateliers de triage. C'est un bon appareil classeur, mais il présente l'inconvénient de briser les charbons.

Le trommel sera simple ou composé.

Trommel simple. — L'axe du trommel simple est horizontal, mais l'enveloppe présente une certaine conicité, de telle sorte que les matières glissent suivant un angle de 10 à 30 degrés. Si le trommel est au contraire cylindrique, son axe sera incliné sur l'horizontale pour permettre la descente des produits (*fig.* 11). Les matières descendent ainsi par la pesanteur. Quant au mouvement de rotation, il sert plutôt à renouveler le contact entre les grains et la tôle perforée.

Cette tôle perforée aura des trous de diamètre croissant, de sorte que toutes les matières passent d'abord sur la tôle la plus fine, ce qui est une cause d'usure pour cette tôle.

On donne aux trommels une grande longueur; l'avantage est d'augmenter le frottement des grains et l'inconvénient de produire plus de poussiers. Les trommels sont aussi à grand diamètre, mais il

n'en résulte pas pour cela un surcroît de force motrice, car il n'y a jamais que le quart de la surface totale utilisée pour le tamisage. En revanche le remplacement des tôles pour de si grands diamètres est difficile et onéreux.

La vitesse de rotation d'un trommel est faible, car, si elle augmentait dans une trop grande mesure, les matières seraient projetées de tous côtés par la force centrifuge et le classement ne serait plus aussi parfait. En général, on adopte comme vitesse dix tours à la minute.

Quelquefois on place à l'intérieur des trommels des hélices en tôle,

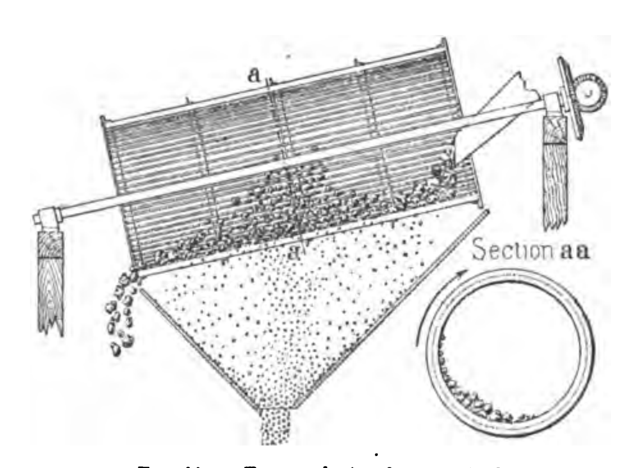


Fig. 11. — Trommel simple à axe incliné.

afin d'obtenir un meilleur classement en retardant la descente des matières. On peut, au contraire, avoir une vis pour activer la descente des produits. Le mieux est de donner aux génératrices une pente uniforme de 4 centimètres par mètre pour obtenir cette descente.

Trommel composé. — Le trommel composé (*fig.* 12) est formé d'enveloppes concentriques, espacées de 20 centimètres environ et garnies de trous de diamètres décroissants. On réalise ainsi des appareils moins longs et d'un diamètre moindre, quoique présentant une puissance de classement plus grande.

Toutefois, les trommels à tôles superposées forcent le charbon à parcourir des chemins plus longs que dans le cas du trommel simple. Ils cassent davantage ce charbon.

On peut en conclure que l'emploi des trommels est à rejeter quand on veut classer des combustibles friables ou moyennement durs. En revanche, si l'on veut séparer franchement les menus d'une qualité de charbon assez dure, le trommel est alors le meilleur appareil.

Pour des anthracites durs comme les qualités de Pennsylvanie, le

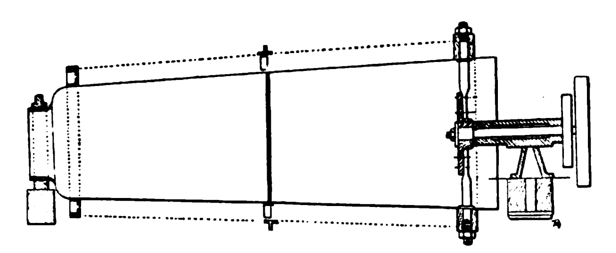


Fig. 12. — Trommel composé à deux tôles.

trommel peut rendre des services. Mais, comme, lors du classement, il se produit une certaine quantité de poussier, on emploie la disposition suivante que représente la figure 13. A l'intérieur du trommel se trouvent des brosses qui nettoient constamment les tôles perforées. Ces brosses sont placées sur des tiges qui portent également des palettes destinées à brasser le mélange. Les tiges des brosses qui sont fixées sur un arbre animé d'un mouvement inverse à celui du cylindre, peuvent être allongées ou raccourcies, de manière à placer les brosses et les palettes à une distance convenable des parois du trommel.

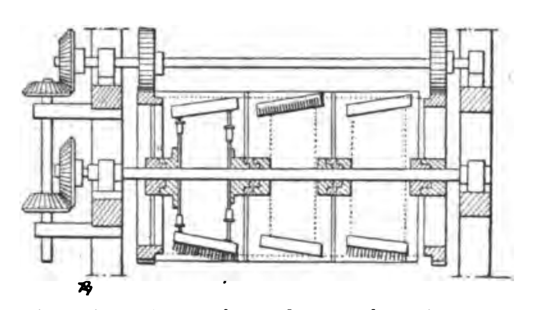


Fig. 13. — Trommel avec brosses de nettoyage des surfaces.

Changement des tôles. — La difficulté du changement des tôles des trommels, dont nous avons parlé plus haut, est la même avec tous les appareils classeurs. Pour remplacer une tôle, il faut en général enlever toutes les autres, ce qui est une grosse perte de temps.

Aux Houillères de Saint-Étienne on emploie une disposition avanta-

gesse qui supprime en grande partie la perte de temps. Le dispositif est appliqué à une caisse criblante.

Dans l'un des longerons du crible sont percées de longues fentes permettant de retirer les tôles et d'en introduire d'autres. Celles-ci glissent sur de petites cornières à la façon d'un tiroir et sont pourvues de poignées servant à les manœuvrer de l'extérieur. Pour bien fixer les tôles sur le cadre, des verrous sont disposés en des points convenables et ouverts ou fermés à l'aide de poignées placées sur les longerons. On peut ainsi remplacer très rapidement les tôles, si elles sont hors d'usage ou si l'on veut changer la nature du sortage des produits.

Distributeurs. — Avec les grilles fixes les distributeurs ne sont pas nécessaires; il suffit d'ouvrir de temps en temps une vanne pour que le charbon descende et soit trié.

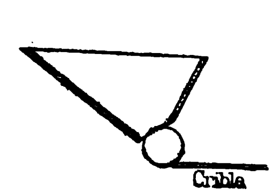


Fig. 14. — Distributeur de charbon.

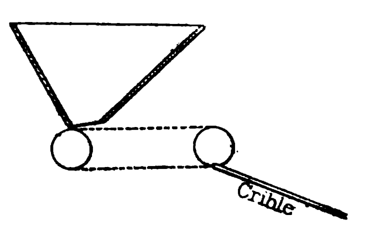


Fig. 15. — Distributeur avec toile de transport.

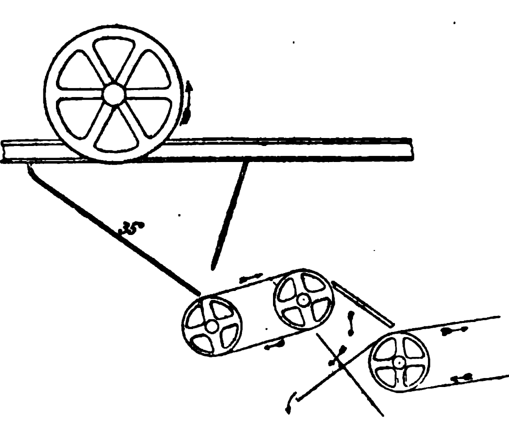


Fig. 16. — Autre distributeur avec toile de transport.

Dans le cas des cribles mécaniques, il faut, au contraire, régulariser l'arrivée du charbon sur l'appareil de triage. On emploie alors des distributeurs de divers types.

Le plus simple de ces distributeurs est un rouleau qui, au repos (Voir *fig.* 14), tient lieu de barrage au bas d'un couloir incliné à 30° formant suite à la trémie de chargement. Quand le rouleau se

met en mouvement, il entraîne le charbon et le déverse sur l'appareil de triage. Un rouleau de 60 centimètres de diamètre tournera, ainsi qu'à Commentry, à raison de 1,75 tour par minute.

Aux mines de Lens et de Béthune on emploie une toile sans fin, (*fig.* 15 et 16) en chanvre ou en caoutchouc, d'un mètre de longueur s'enroulant sur deux tambours de 60 centimètres de diamètre. La toile est inclinée à 10 ou 12° et se meut à une vitesse uniforme de 4 à 5 centimètres à la seconde. Ce mode de distribution ne convient qu'à des grosses extractions, car il est susceptible d'entraîner une grande quantité de charbon.

On peut aussi utiliser comme distributeur un grand cylindre en fonte. On disposera au besoin sur le cylindre des cornières ayant pour but de faciliter l'entraînement des matières.

Mais si le distributeur est trop compliqué ou trop lourd on augmente sans raison la dépense de force motrice, et l'avantage ne paraît pas aussi grand qu'on semblerait le désirer.

Triage. — Le triage, c'est-à-dire l'enlèvement des pierres contenues dans les charbons, s'opère soit sur des tables fixes, soit sur des tables mobiles.

Le triage sur tables fixes est assez lent, mais il est le plus parfait. Aux mines de Montrambert on place à la suite du crible une table horizontale sur laquelle les trieurs étendent le charbon en couche mince et le retournent constamment pour en retirer les pierres. Le triage achevé, la table peut osciller autour d'une charnière de manière à décharger son contenu dans un wagon (*fig.* 17). Au puits Ferrouillat des mines de Montrambert on éliminerait ainsi en pierres 10 0/0 du poids total du combustible.

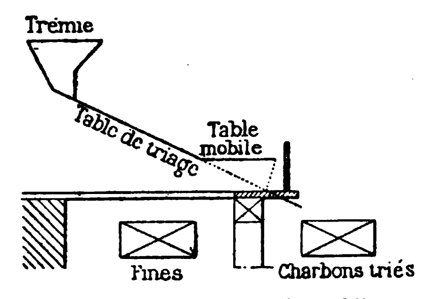


Fig. 17. — Triage sur table mobile.

Quelque parfait que puisse être le triage sur table fixe, on préfère partout le triage sur table mobile, et ce dernier système est à peu près général dans tous les charbonnages.

On a bien fait à ce mode de triage diverses objections. On prétend que les pierres passent sous les yeux du trieur trop vite pour qu'il

ait pu les apercevoir. Ceci serait vrai pour une personne mal exercée à ce mode de travail. Il suffit pour se convaincre du contraire de voir la dextérité avec laquelle les trieurs (et les femmes sont surtout habiles en ce cas), enlèvent les schistes mélangés au charbon, tout en causant et pensant à autre chose. Si les charbons sont très sales, le personnel devra assurément se précipiter en masse sur la toile de transport pour être sûr d'en enlever toutes les impuretés. Dans ce cas, d'ailleurs, le mieux est de débrayer la table pour arrêter son mouvement, ce qui est toujours facile.

Les toiles de transport sont métalliques ou bien faites en chanvre.

Les toiles métalliques seront constituées avec des barreaux de fer rond pour les gailletteries. Les barreaux, espacés de 60 à 80 millimètres afin de laisser passer les menus qui adhèrent aux gailletteries, sont mis en mouvement par une chaîne de Galle.

Pour les gailletins et les fines, les toiles sont formées de tôles pleines et juxtaposées qui s'enroulent sur des tambours polygonaux mus par une chaîne de Galle. On aura, par exemple, des tôles articulées de 20 centimètres de longueur et de 60 à 90 centimètres de largeur.

Les toiles de transport en chanvre sont constituées le plus souvent avec de vieux câbles d'extraction. Il faut alors compter avec l'allongement de ces câbles et donner au bâti des rouleaux de retour un certain jeu par rapport à celui des rouleaux moteurs, ce que l'on réalise au moyen de tendeurs à vis. Avant leur emploi, les vieux câbles doivent être bien séchés afin de diminuer d'autant l'allongement ultérieur. La toile étant composée de plusieurs tronçons de câble, ces tronçons doivent être rigoureusement égaux et également séchés. Ils sont cousus ensemble, afin que le poussier ne passe pas à travers les vides qu'ils pourraient laisser entre eux.

Pour diminuer la flexion, on fait reposer les câbles sur des rouleaux en bois de 20 centimètres de diamètre distants de 1 mètre d'axe en axe. Quant aux rouleaux d'extrémité, il faut les placer à 35 centimètres au-dessus du plancher, de manière que la poussière de charbon qui s'accumule sur ce plancher ne vienne pas encrasser les axes des rouleaux.

Les toiles en chanvre sont moins économiques et exigent plus d'entretien que les toiles métalliques, car elles doivent être remplacées au bout de deux ans et demi en général. Elles ont l'avantage, en revanche, de conduire les charbons sans les faire sauter et de

diminuer la hauteur de chute sur l'appareil de chargement. Elles empêchent, par suite, le bris du combustible.

En Amérique, dans le bassin de Pennsylvanie, on emploie pour le triage des appareils spéciaux consistant en longs couloirs inclinés disposés trois par trois. Les couloirs latéraux reçoivent les charbons impurs, et le couloir central emporte les morceaux triés.

Un gamin placé au point *d* prend à mesure le charbon dans le couloir *a* et le pousse vers le couloir *c*, tout en le débarrassant des pierres (*fig.* 18). Ce dispositif exige un nombre considérable de trieurs, et la main-d'œuvre est considérable, ce qui est assez étonnant pour l'Amérique.

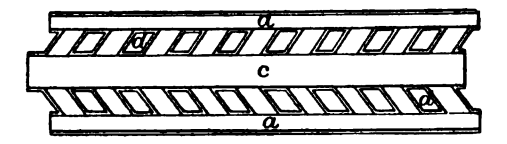


Fig. 18. — Appareil de triage américain.

Quel que soit le genre de triage adopté, on enlève bien souvent avec les schistes des *charbons barrés*, c'est-à-dire des morceaux de houille où sont interstratifiés des schistes. Ces produits doivent être cassés pour en retirer le charbon pur. Cette opération se fait à l'aide de marteaux pointus dans un atelier spécial de déschistage, si la quantité de charbons barrés est considérable. Les morceaux sont cassés au-dessus d'une grille à barreaux peu écartés. Le menu ainsi recueilli contient le plus souvent une grande quantité de charbon.

Triage mécanique. — Les Américains, dans le but de supprimer une partie de la main-d'œuvre de triage, ont imaginé ce qu'ils appellent un triage automatique à l'aide d'appareils spéciaux.

Le principe sur lequel sont basés ces appareils est le suivant. Si, sur une surface inclinée, on fait glisser un mélange de charbons et de schistes, les schistes qui présentent presque toujours des clivages plats, adhéreront plutôt à la surface de glissement. En frottant contre cette surface, les schistes descendront d'un mouvement uniforme, tandis que les morceaux de charbon prendront une certaine accélération due à la pesanteur. Si, d'autre part, on place sur la surface inclinée une fente longitudinale, les schistes passeront par cette fente. Les schistes seront bien mélangés de charbon, mais tout ce qui, animé d'un mouvement accéléré, passera au-dessus de la fente sera du charbon pur.

On réalise ce principe de diverses manières.

Le premier moyen est indiqué par la figure 19. La surface de la table

de triage est partagée en trois parties par trois fentes longitudinales au droit desquelles sont des cylindres animés d'un mouvement de rotation. Les schistes passent à travers la fente, tandis que les cylindres, par leur mouvement, s'opposent au tamisage des charbons qui auraient tendance à s'échapper.

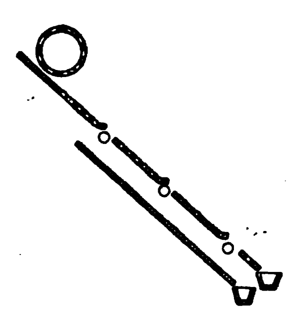


Fig. 19. — Triage automatique des schistes.

Un autre système est représenté par la figure 20. C'est une succession de plans inclinés disposés à angle droit. Les côtés les plus longs servent de plan de glissement pour le mélange des charbons et des schistes. Les plus courts comportent une ouverture où peuvent passer les schistes.

On peut d'ailleurs appliquer ce principe mécanique de classement à une table à secousses. On formera alors la partie supérieure de la table, avant les tôles à trous, de tôles ayant la forme indiquée par la figure 21. Les schistes viendront buter sur les aspérités de cette tôle et passeront par les orifices qui y sont ménagés.

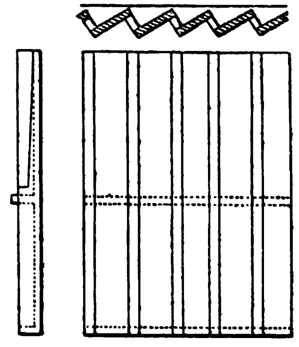


Fig. 20. — Autre appareil de triage automatique.

On a imaginé des séries d'appareils, tous plus ou moins parfaits fondés sur le même principe. On a varié à l'infini l'enchevêtrement des surfaces et placé en gradins successifs des grilles à barreaux coniques, à l'extrémité desquelles les charbons passaient sur d'autres grilles, tandis que les schistes, animés d'une vitesse moindre, tombaient dans l'intervalle des deux grilles. On a disposé aussi sur la surface d'un trommel une série de barreaux longitudinaux, de telle manière que les barreaux extérieurs fussent placés en face des vides des barreaux intérieurs et que les schistes pussent passer à l'extérieur du trommel, tandis que les charbons restaient à l'intérieur.

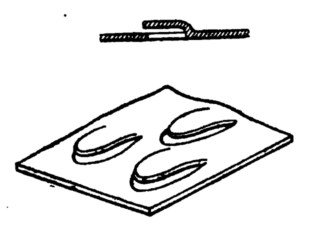


Fig. 21. — Tôle d'une table à secousses pour triage automatique des charbons.

M. Allard de Chatelineau (Belgique) a imaginé un épierrage automatique d'un genre analogue à ceux qui fonctionnent en Amérique.

Son appareil (*fig.* 21 *ter*) consiste en une grille mobile munie de barreaux ayant la forme d'un A très allongé. Les arêtes inférieures des barreaux vont en se rétrécissant vers l'avant, tandis que les arêtes supérieures sont parallèles, mais sont plus élevées à l'avant qu'à l'arrière. Ceci permet aux plus gros morceaux de schistes de traverser immédiatement les barreaux.

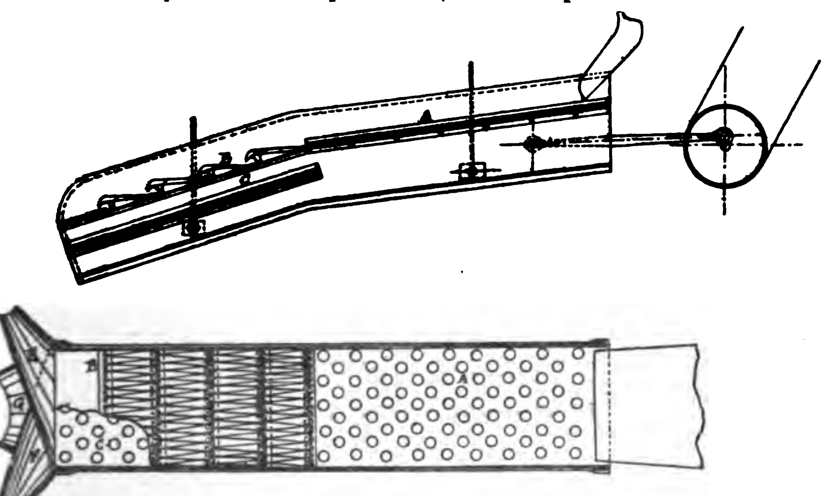


FIG. 21 *ter*. — Grille Allard pour épierrage automatique.

Le fonctionnement de l'appareil se conçoit aisément. Les charbons de forme plus ou moins cubique glissent entre les barreaux comme dans des ornières et arrivent à l'extrémité de la grille, tandis que les schistes beaucoup plus plats s'engagent à travers les barreaux de la grille.

L'ensemble de l'appareil se compose d'un tamis à trous ronds ou hexagonaux pour le calibrage des grains, d'une grille à barreaux telle qu'elle vient d'être décrite pour l'évacuation des schistes et d'un tamis à trous ronds placé sous cette grille pour l'élimination des charbons qui auraient pu être entraînés avec les schistes.

Quels que soient les essais faits, le triage à la main est celui qui semble devoir prédominer jusqu'ici. Un seul appareil est intéressant à signaler, c'est le désintégrateur-épurateur Sottiaux.

Desintégrateur-épurateur Sottiaux. — Le principe de l'appareil est de provoquer la séparation du charbon et du schiste en broyant

d'abord, puis en emportant le produit utile par une ventilation énergique.

L'appareil (*fig.* 22) comporte un brisoir à lames héliçoïdales B, constitué par des bras en acier, aux extrémités desquels sont fixées les lames. Il tourne à l'intérieur d'un cylindre formé de deux

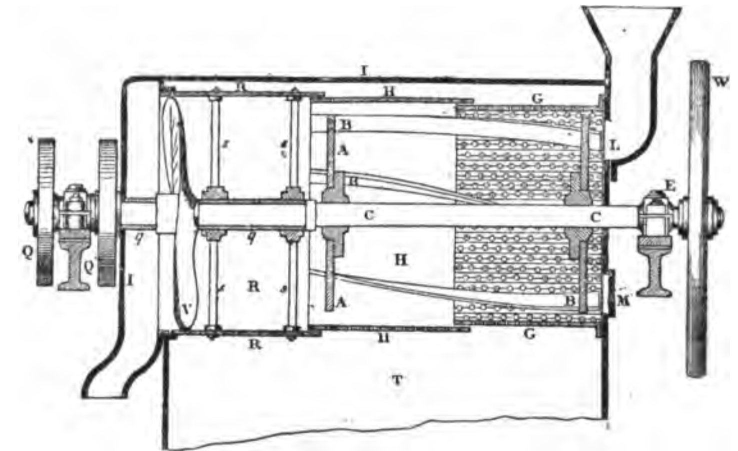


Fig. 22. — Desintégrateur-épurateur Sottiaux.

parties : la première, en fonte, est munie de rainures au fond desquelles sont des trous ; la seconde est formée d'une tôle perforée à trous comme les trommels.

Derrière le brisoir se trouve un cylindre cribleur R qui tourne à une vitesse différente et qui se termine par une hélice V.

Le charbon à traiter, amené par la trémie L, est brisé par les lames dans leur rotation et converti en morceaux à peu près ronds et d'un petit diamètre. Il se trouve ainsi débarrassé des schistes qui se brisent en paillettes selon leur clivage. Une partie du charbon est emportée par le vent et par la force centrifuge à travers les trous du cylindre en fonte. Le reste vient se classer dans l'appareil cribleur R qui élimine par sa périphérie les matières charbonneuses. L'hélice V tend à retenir ces matières pour mieux les classer.

En I arrivent alors les pierres débarrassées des dernières parcelles charbonneuses.

Un appareil de 3 mètres de longueur et de 1^{m},50 de diamètre peut, à raison de 250 tours par minute, classer 30 à 35 tonnes à l'heure et ramener un charbon de 15 0/0 de cendres à une teneur de 7 0/0, sans que le déchet soit par trop considérable.

Reconstitution. — Après triage des produits calibrés, on peut mé-

langer à nouveau ces produits, c'est-à-dire opérer ce que l'on appelle la *reconstitution*. On réalise ainsi les compositions de tout-venant demandées dans l'industrie, les charbons ayant été préalablement et convenablement débarrassés de leurs pierres.

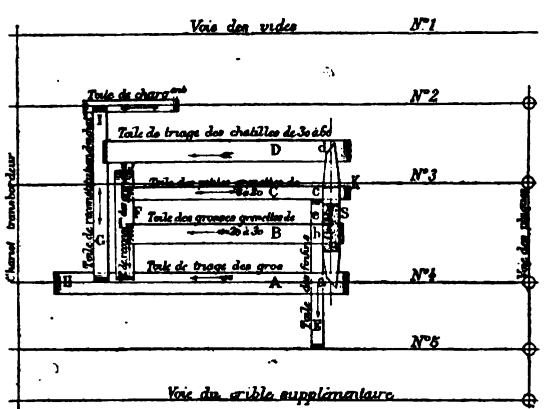


Fig. 23. — Schéma du criblage du puits Mars aux Houillères de Saint-Étienne.

Les recompositions ou reconstitutions se font sur des toiles de transport perpendiculaires aux toiles de triage. On laisse tomber sur ces toiles la quantité de charbon exactement nécessaire pour former du 35, du 45, du 50, du 60 ou du 70 0/0. Il suffit pour cela de soulever une trappe qui existe dans la trémie de chargement placée a chaque extrémité du couloir de triage. Le charbon, au lieu de tomber dans le wagon, descend sur une toile de transport placée sous la table de triage, et le mélange s'y fait automatiquement avant que les sortes mélangées ne tombent dans le wagon.

La disposition du croquis schématique (*fig.* 23) est celle des Houillères de Saint-Étienne (puits Mars). Aux mines de Bruay, le triage se fait sur trois tables, et perpendiculairement à ces tables se trouve une toile de concentration des criblés qui emmène les tout-venants industriels au chargement en wagon.

Appareils de chargement. — Les appareils de chargement devront être combinés de manière à éviter le bris des charbons. Ce seront, en général, des couloirs à joint télescopique, c'est-à-dire pouvant s'allonger ou se raccourcir à volonté.

On fait reposer ces couloirs télescopiques sur le charbon déversé dans le wagon et on les maintient toujours chargés d'une certaine quantité de combustible, afin que les morceaux roulent sans tomber, par conséquent sans se briser.

Au début du chargement, il y a toujours chute de quelque premier fragments de charbon dans le wagon. Puis, peu à peu, un cône de combustible se forme, et c'est sur ce cône que vient reposer le couloir télescopique. Les charbons tombent ainsi selon l'inclinaison

du tas conique. On ne remonte le couloir que lorsqu'il a tendance à s'engorger et on s'arrange toujours pour qu'il n'y ait aucune chute du combustible.

Un appareil de chargement intéressant est le transporteur Kreiss (*fig.* 24). Le couloir de ce transporteur est animé de secousses longitudinales d'avant en arrière au moyen d'une bielle actionnée par un excentrique. Les matières, sous l'action des secousses, sautent dans le couloir, ce qui évite l'effet retardateur du frottement, et peuvent être transportées sur de grandes longueurs sans aucun bris. Le débit de l'appareil est assez considérable. Un couloir de 800 millimètres de largeur et de 250 millimètres de hauteur peut transporter 20 à 25 tonnes à l'heure.

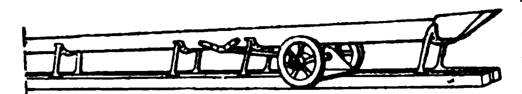


Fig. 24. — Transporteur Kreiss.

Prix de revient. — Nous donnerons comme exemple de prix de revient celui de l'atelier de Commentry, qui a été communiqué par M. Buisson au Congrès des Mines et de la Métallurgie de 1900[1].

Pour une production totale nette de 328.000 tonnes, ce prix de revient se décompose comme il suit :

MAIN-D'ŒUVRE.	Machiniste			0,007	0,272
	Verseurs aux culbuteurs			0,024	
	Trieurs	aux tables	0,147	0,188	
		au déschistage	0,029		
		à la gaillette	0,007		
		divers	0,005		
	Manœuvres aux wagons	à la charge	0,006	0,021	
		au régalage et roulage	0,015		
	Entretien du matériel			0,029	
	Roulage des rochers			0,003	
FOURNITURES.	Toiles de transport		0,010	0,041	0,053
	Toiles de triage		0,002		
	Cribles et culbuteurs		0,004		
	Eclairage		0,008		
	Graissage		0,002		
	Matières diverses		0,013		
	Chauffage		0,002		
	Machines	Entretien	0,001	0,012	
		Charbon	0,011		
SURVEILLANCE					0,015
				TOTAL	0,340

1. *Bulletin de l'Industrie minérale*. 3e série, tome XV

Dans l'établissement de ce prix de revient, le salaire moyen des trieurs est compté à raison de 2 fr. 09, et celui des déschisteurs à raison de 2 fr. 17. Le personnel se compose de 82 trieurs et de 14 déschisteurs.

Il faut estimer à 5 chevaux la force motrice nécessaire pour actionner un crible-caisson de $3^{m},50$ de longueur à trois tôles perforées, débitant 35 tonnes à l'heure et déversant les produits sur trois toiles en chanvre, longues de 8 à 10 mètres.

Exemple d'installation. — Aux mines de Béthune, un dispositif avec cribles à secousses, placés en longueur, à la suite les uns des autres, permet de réaliser un nombre multiple de combinaisons. La figure 25 indique l'ensemble de la disposition adoptée à la fosse n° 9.

Les cribles forment deux groupes distincts, mais desservis par les mêmes toiles, sauf pour les fines. Le charbon versé par les culbuteurs mécaniques M est relevé par une toile distributrice le déversant sur une grille Briart, à 80 millimètres d'écartement. La grosse gailletterie arrive sur la toile A. Les morceaux inférieurs à 80 millimètres tombent sur le tiroir à secousses F, qui les déverse sur le crible à secousses C, muni de deux grilles de 70 et 15 millimètres.

La gailletterie 70 à 80 est reçue par la toile B, tandis que le menu 0 à 15 tombe dans la trémie T, et de là sur la toile D. Le refus du crible, compris entre 15 et 70, est conduit par le couloir prolongeant la grille de 15 millimètres entre les deux brins de la toile B, à un deuxième crible à secousses C′ donnant la petite gailletterie 50 à 70 reçue par la toile E, le refus compris entre 15 et 50 se rendant sur un troisième crible C″ subdivisant celui-ci en deux : 1° catégories entre 30 et 50, déversées sur la toile G ; 2° menus de 15 à 30 allant sur la toile D, où ils se réunissent avec le 0 à 15, pris sous le crible C.

Trois équipes de trieuses échelonnées le long des toiles A, B, E, font le triage des qualités au-dessus de 50 millimètres.

Les quatre sortes 80, 80 à 70, 70 à 50, 50 à 30, peuvent être chargées séparément en A′, B′, E′, G′, sur les voies correspondantes, ou bien tout ou partie de ces sortes, à l'aide de râclettes disposées en R, R′, R″, peut être déversé sur la toile de reconstitution K, le chargement s'opérant alors en G. Si l'on veut y joindre la sorte 15

à 30, la grille du crible C est remplacée par une tôle pleine qui laisse passer les charbons sans les classer.

Les fines 0 à 15 sont toujours chargées à l'extrémité des toiles DD. On pourrait, toutefois, les réunir aux sortes précédentes, en remplaçant la grille de 15 millimètres du crible C' par une tôle pleine. Comme on le voit, les combinaisons sont multiples et permettent de faire les mélanges que l'on désire.

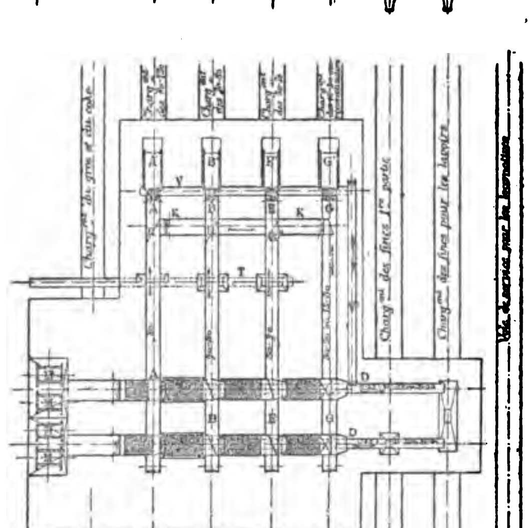


Fig. 25. — Vue schématique du criblage de la fosse 9 des mines de Béthune.

Le charbon traité à la fosse n° 9 de Béthune est très peu grêleux; il ne renferme que 8 0/0 de morceaux au-dessus de 50 millimètres. La catégorie inférieure à 50 millimètres est très pierreuse. La proportion des rochers triés atteint 27 0/0 de la partie soumise au triage. On occupe des trieuses, payées à prix fait, à raison de 0 fr. 10 par hectolitre. Celles-ci jettent les pierres triées sur un transporteur Kreiss T, les conduisant en dehors de l'atelier.

Le menu produit au cours du triage sur les toiles A, B, E, est éliminé par de petites grilles, placées avant le déverseur dans les couloirs de chargement. Ce menu tombe sur la petite toile V qui, combinée avec la toile V', permet de le réunir aux fines sur la toile D qui réunit tous les autres menus de la préparation mécanique.

CHAPITRE IV

LAVAGE DE LA HOUILLE

Premiers essais de lavage. — Théorie du lavage. — Calibrage des produits à laver. — Appareils de calibrage. — ***Lavage des grains. — Laveurs discontinus.*** **— Laveur Bérard. — Laveur Guilhaumat. —** ***Laveurs continus.*** **— Laveur Lührig-Coppée. — Laveur Schüchtermann-Kremer. — Laveur à palettes. — Laveur Elliot. —** ***Lavage des fines.*** **— Laveurs à feldspath. —** ***Appareils accessoires d'une installation de lavage.*** **— Spitzkasten. — Appareils de transport. — Tours d'égouttage. — Schlamms. — Laveur Dorr pour schlamms. — Prix de revient. — Exemple d'installation.**

Le lavage a pour but de purifier les combustibles en les débarrassant des parties schisteuses d'abord, puis d'une certaine quantité de pyrite de fer qui leur est mélangée. On se base pour effectuer cette opération sur des données qui dérivent du principe de la pesanteur.

Premiers essais de lavage. — Ces données sont connues depuis longtemps déjà et, sinon pour les charbons, du moins pour les minerais, le laveur à secousse a été employé de toute antiquité. C'est un cadre muni d'une tôle perforée que l'ouvrier monte ou descend dans une caisse remplie d'eau. Les matières se classent par densité, dès qu'on a répété un certain nombre de fois l'opération.

M. Marsaut a appliqué ce mode de lavage à l'épuration de la houille, et, afin de diminuer autant que possible les remous de l'eau qui peuvent être préjudiciables au lavage, il donne à une couche de houille de $1^m,20$ à $1^m,30$ d'épaisseur un mouvement lent et progressif de manière à classer les matières par densité.

A cet effet, dans une cuve en bois (*fig.* 26), se meut un piston hydraulique qui porte un panier en fer avec trois tiroirs superposés sur lesquels sera placé le combustible.

Le panier une fois chargé est d'abord secoué pour égaliser la charge, puis descendu au fond de la cuve. Il est remonté ensuite par le piston hydraulique. A mesure que s'effectue cette ascension, l'eau revient par dessous à travers un tube latéral. En s'éliminant ainsi progressivement, non seulement elle ne gêne pas, mais encore elle favorise le classement des charbons.

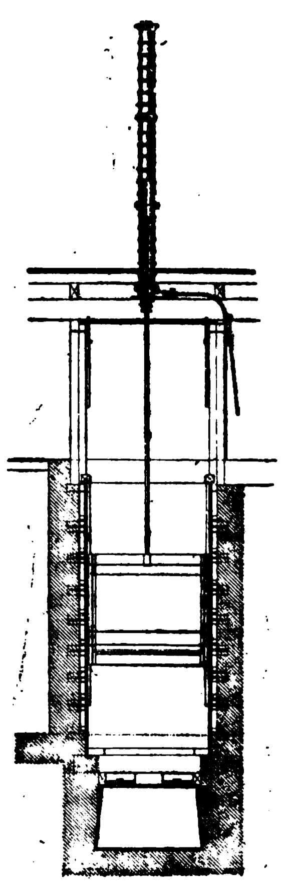


Fig. 26. — Laveur Marsaut.

On recommence plusieurs fois, s'il y a lieu, le mouvement de montée et de descente. Quand l'opération paraît devoir être terminée, chacun des tiroirs est émergé successivement et un piston hydraulique horizontal chasse les charbons, les intermédiaires et les schistes dans les compartiments qui sont destinés à les recevoir. La hauteur des tiroirs doit être réglée, bien entendu, suivant la nature des charbons à laver.

Ni les appareils primitifs ni le laveur perfectionné Marsaut ne permettent de soumettre à l'épuration de grandes quantités de charbon à la fois. Pour augmenter le débit, on a eu l'idée de déplacer l'eau, au lieu de déplacer le crible, et l'on conçut un appareil à piston mû à bras d'homme. Tel fut le commencement du lavage au bac à piston, qui est aujourd'hui universellement employé et dont la théorie est en quelques mots celle-ci.

Théorie du lavage. — Supposons une grenaille de densité d abandonnée à la pesanteur au milieu de l'eau. Elle est sollicitée par deux forces, son poids d'abord, la poussée de l'eau ensuite. Si V est le volume de la grenaille, la résultante des deux forces sera :

$$Vd - V = V(d - 1).$$

Sous l'action de la force résultante un mouvement se produira.

Si m est la masse de la grenaille, l'accélération de ce mouvement sera représentée par :

$$\frac{V(d-1)}{\frac{Vd}{g}} \text{ ou } \frac{d-1}{d} g.$$

Dans cette expression qui représente un mouvement uniformément accéléré, on remarque que les dimensions de la grenaille n'interviennent plus. Et, pourtant, l'expérience montre que des grains de différentes dimensions ne se classent pas de la même manière. C'est qu'il faut faire intervenir la résistance de l'eau qui croît comme le carré de la vitesse du mouvement. Au bout d'un certain temps l'accélération est détruite, et le mouvement devient uniforme.

Il faut aussi tenir compte des influences de mouvement relatif dépendant de la vitesse ascendante de l'eau. En définitive, le classement s'expliquera de la manière suivante.

Au début, alors que le mouvement est uniformément accéléré et que l'accélération est fonction de la densité, une grenaille de schiste prendra une certaine avance sur une grenaille de charbon. Puis le mouvement devient uniforme et les grenailles tombent alors avec la même vitesse ; mais, par suite de son avance, la grenaille de schiste viendra se placer sur le tamis au-dessous de la grenaille de charbon. En somme, le classement s'opère moitié par densité et moitié par équivalence.

Pour que le classement soit parfait, il faut que la vitesse ascendante de l'eau soit supérieure à celle du mouvement uniforme des grenailles, de manière que ces grenailles tombent bien également sur le tamis. Le mouvement relatif obtenu permet alors de réaliser un bon classement par équivalence.

L'amplitude de la course du piston dépend de la grosseur des grenailles. Il faut qu'il y ait choc entre l'eau et entre ces grenailles. Pour réaliser d'autant mieux ce choc, il faudra que les grenailles ne soient pas constamment immergées dans l'eau, et que l'eau descende au-dessous du tamis de lavage.

Le mouvement de retour du piston doit être assez lent. On imprimera à l'eau un mouvement de descente plus lent que celui de remonte. Dans ce mouvement de descente les grenailles tombent avec l'eau, et, pour qu'elles se superposent par tranches parfaitement horizontales, les deux mouvements devront être synchrones et

dépourvus des chocs qu'on recherchait pendant la période d'ascension. On s'arrange souvent pour que le piston descende deux fois plus vite qu'il ne monte. On emploiera à cet effet une disposition identique à celle de la figure 27.

Quel que soit le soin qu'on apporte à régler le mouvement de l'eau proportionnellement à la vitesse de chute des grains, il arrive que ces grains sont déjà parvenus sur le tamis, alors que le mouvement de descente de l'eau se produit encore. Il y a une sorte de succion des produits, et les poussières de charbon qui se produisent toujours dans le lavage, pénètrent au milieu des schistes de manière à augmenter la proportion de déchet dans les produits rejetés, c'est-à-dire la quantité des *intermédiaires*. Nous indiquerons plus loin comment dans certains appareils on a cherché à remédier à cet inconvénient de la pratique qui contrarie les calculs de la théorie.

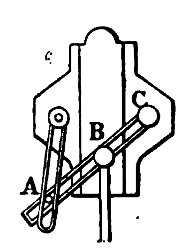


Fig. 27. — Coulisse différentielle d'un bac à piston.

Calibrage des produits à laver. — Ainsi que le montre la théorie, il faut laver des grains de dimensions très voisines. On est astreint par conséquent à un calibrage analogue à celui qui a été décrit pour le sortage de la houille.

Les matières qu'on soumet au lavage sont les fines de 0 à $0^m,040$ minimum, et les fines de 0 à $0^m,080$ minimum. Ce seront ces fines qu'on partagera en différentes catégories. Mais dans cette classification on n'ira pas toujours jusqu'au bout et les poussiers de 0 à 5 millimètres, quelquefois même de 0 à 10 millimètres ne seront pas lavés. On évite de la sorte la formation d'une trop grande quantité de *schlamms*, c'est-à-dire de matières impalpables restant en suspension dans l'eau.

Ces parties schlammeuses sont nuisibles en ce sens qu'elles empâtent les grains lavés et empêchent la perfection de leur lavage. En outre il faut, pour faire sécher une grande quantité de schlamms, un nombre considérable de bassins de décantation, et la quantité d'eau nécessaire au lavage est d'autant plus grande. Enfin les parties les plus ténues du charbon ne se lavent pas aussi complètement, et il est bien inutile souvent de chercher à diminuer de 2 à 3 0/0 la teneur en cendres d'un poussier qui en contient de 12 à 15 0/0.

Aussi a-t-on pris l'habitude de séparer immédiatement les matières fines. Aux mines d'Anzin l'expulsion se fait à l'aide d'un ventilateur

qui emporte tout le poussier. Aux mines de Lens, on enlève par criblage les fines de 0 à 3 millimètres. En Pennsylvanie, on emploie aussi un ventilateur Root pour enlever les fines.

Les fines étant expulsées, quelle sera la classification donnée aux charbons d'une dimension supérieure à 3 millimètres?

On a vu précédemment qu'un grain de volume V et de densité d tombait sous l'action de la force résultante $V(d-1)$. Au lieu de caractériser les grains par leur volume, on peut les désigner par le diamètre des trous du crible où ils auront passé. Soient : o, le diamètre d'un grain de charbon ; o', le diamètre d'un grain de schiste plus petit. Soient d et d' les densités du charbon et du schiste. Pour qu'il y ait séparation, il faut que l'on ait :

$$o(d-1) \geqq o'(d'-1).$$

S'il y a égalité, on voit que le rapport des trous du crible sera :

$$\frac{o}{o'} = \frac{d'-1}{d-1}.$$

Or, la densité d'un schiste pur, peu charbonneux, est de 2,3 à 2,4. Par le mélange avec le charbon, cette densité peut diminuer et nous admettrons qu'elle soit égale à 2. Quant au charbon, il est plus ou moins dense, suivant la quantité de matières volatiles qu'il renferme et selon qu'il est barré ou non. Nous prendrons 1,5 comme densité pour le charbon, afin de tenir largement compte des impuretés. La progression géométrique des trous pour le classement des charbons aura pour raison :

$$\frac{2-1}{1,5-1} = \frac{1}{0,5} = 2.$$

On obtient ainsi l'échelle : 0 — 5 — 10 — 20 — 40 — 80.

On peut faire varier, bien entendu, les chiffres de cette échelle. Toutefois, il est bon, jusqu'à la dimension de 20 millimètres, de ne pas dépasser un écart de 5 à 7 millimètres. Au delà, on peut adopter une différence de 10 millimètres et plus pour la grosseur des grains. Aux mines de Lens, on a adopté 3 — 10 — 18 — 25. Aux mines d'Aniche, on traite les catégories 3 — 9 — 25 — 40. Aux mines de Blanzy, on fait des catégories 0 — 10 — 25 — 55. Aux mines de Nœux, la décomposition est poussée plus loin et comporte les catégories 3 — 6 — 8 — 12 — 15 — 25.

Appareils de calibrage. — Les appareils de calibrage sont, soit des trommels à enveloppe simple ou double, soit des tables à secousse.

L'important, pour l'installation des trommels, est d'avoir de grandes surfaces tamisantes, afin que les charbons soient exactement classés suivant les catégories voulues et qu'ils ne s'accumulent pas en certains points, de manière que les grains puissent être entraînés avec les fines. Si le trommel est simple, il aura de plus fortes dimensions pour augmenter les surfaces de frottement, ainsi que nous l'avons expliqué précédemment. Avec une double enveloppe, on majore la surface tamisante et l'on peut diminuer la longueur.

Un trommel simple pourra avoir 12 mètres de longueur sur $1^m,40$ de diamètre. A la vitesse de 5 à 6 tours par minute, il classera en dix heures de travail 250 tonnes de houille à des dimensions telles que 0 — 6 — 15 — 25 — 30 — 35.

Au lieu d'un seul trommel dont les trous ont des dimensions augmentant suivant une progression constante, on peut disposer une série de trommels étagés dont chacun classe une catégorie spéciale de charbons ; les uns seront coniques ; ce sont ceux destinés aux fines ; les autres seront cylindriques. De tels trommels n'ont alors que $2^m,50$ ou 3 mètres de longueur en moyenne.

Si le trommel est à double enveloppe, il n'aura cette double enveloppe que sur la moitié de la longueur. Un seul trommel de 5 à 6 mètres de longueur présentera une tôle perforée de $0^m,025$, puis une tôle de $0^m,045$. Ce qui traverse la tôle de $0^m,025$ est classé à nouveau sur une longueur de $2^m,50$ à 3 mètres par une tôle de $0^m,015$. On peut alors, à raison de 7 à 9 tours par minute, classer en dix heures 350 à 400 tonnes de produits ayant les dimensions 0 — 15 — 25 — 45 — 80.

Dans tous ces trommels il est nécessaire d'injecter de l'eau pour empêcher l'encrassement des tôles perforées. A cet effet, on dispose, suivant une des génératrices du trommel, un tuyau percé de trous, et l'eau, en sortant par minces filets, vient arroser toute la surface du trommel pendant le temps que celui-ci accomplit sa révolution.

Les tôles à secousses sont analogues aux appareils qui ont été décrits au chapitre SORTAGE DE LA HOUILLE. Elles sont superposées, de sorte que l'espace occupé est le moindre possible. Ce sont des caisses criblantes qui permettent de classer le maximum de produits dans le minimum de temps.

Lavage des combustibles avant classement. — Nous avons insisté tout particulièrement sur la nécessité qu'il y avait à bien calibrer les charbons pour avoir des grains de schiste et charbon de même grosseur, dont la séparation se ferait d'autant plus aisément par la densité dans des laveurs appropriés au diamètre des matières.

Une idée inverse d'un tel principe, qui est celui de tous les appareils laveurs antérieurement décrits, consiste à laver directement des charbons pour les classer ensuite. Ce nouveau système peut avoir ses avantages ; il présente aussi des inconvénients.

Si on lave d'abord pour classer ensuite, on aura moins de poussier. C'est le principal avantage du système.

Un autre avantage consiste en ce fait que la quantité d'eau nécessaire au lavage est moins grande. Dans un crible à grains calibrés, il y a forcément des vides entre les grains, et l'eau passe entre ces vides sans entraîner de charbon. Si, au contraire, les vides entre les grains sont remplis par des charbons d'un diamètre plus petit, ces charbons seront entraînés par la masse d'eau, qui fournira ainsi un travail utile d'autant meilleur.

En revanche, l'inconvénient de la méthode est de laisser beaucoup de charbon dans les stériles. Ces charbons sont entraînés par les schistes. Cela se comprend aisément, si l'on veut bien se reporter aux formules que nous avons données dans la théorie générale du lavage.

Cet inconvénient s'accentue avec la diminution du diamètre des charbons à laver, et l'on peut assurer que si, en classant avant lavage, on arrive à épurer des grains jusqu'à 1/2 ou 1/3 de millimètre, il n'en va pas de même si on classe après lavage, car les particules fines de schiste sont entraînées avec le charbon par la violence du courant d'eau, la circulation d'eau n'étant pas appropriée aux différences de diamètre des charbons. Nous avons dit en effet que plus le diamètre est petit, plus les oscillations du piston doivent être lentes et courtes.

Quoi qu'il en soit de ces avantages et de ces inconvénients, nous décrirons pourtant le laveur allemand *Baum*, qui est susceptible de diverses applications dans les charbonnages.

Laveur Baum. — Le laveur Baum est spécialement destiné à laver, sans classification préalable, les fines de 0 à 80 millimètres.

Il est conçu sur le même principe que les autres bacs laveurs, en ce sens que le classement par densité s'opère par un mouvement

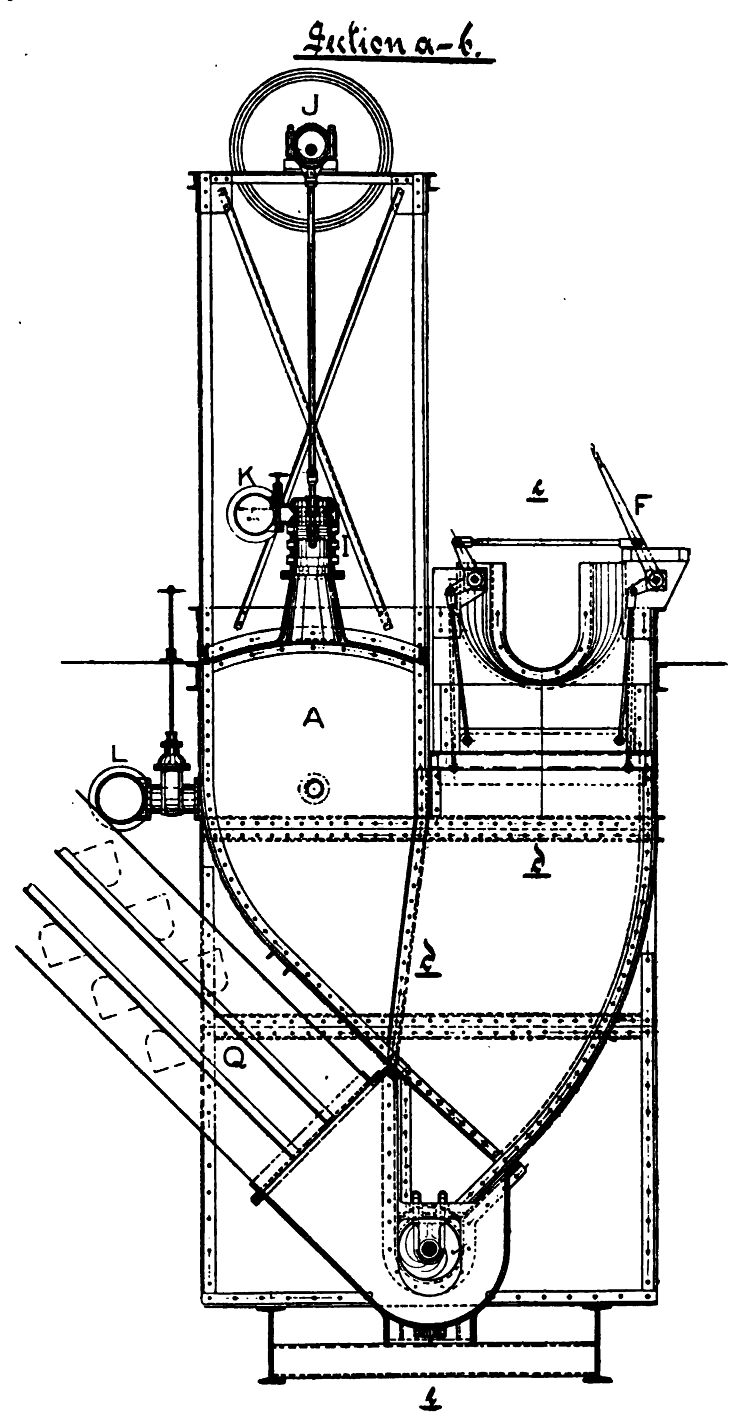


Fig. 27 A. — Laveur Baum.

Section a–b–a.

Fig. 27 B. — Laveur Baunn.

d'ascension et de descente de l'eau. Toutefois une différence existe avec les appareils similaires et consiste dans ce fait que le mouvement de pulsation de l'eau est obtenu par l'air comprimé et non plus par un piston. On est en présence d'un agent de force plus énergique, mais aussi plus élastique et plus aisément modérable.

L'admission et l'évacuation de l'air comprimé sont réglées par des tiroirs I commandés par les excentriques J et placés entre le tuyau d'arrivée de l'air comprimé K et le compartiment A (*fig.* 27 A, 27 B).

Le mouvement de pulsation est plus rapide de bas en haut que de haut en bas, grâce à une arrivée d'eau constante dans le compartiment A par le tuyau L, qui l'introduit en M et N. Ce mouvement combiné avec le mouvement de translation du courant d'eau est tel que le charbon, au fur et à mesure de son passage au-dessus de la claie BC, en se dirigeant de D vers E, est classé par couches de densités décroissantes de bas en haut.

Le lit inférieur composé des schistes est enlevé mécaniquement en B et en C par des ouvertures dont la hauteur est réglée par des leviers F. Après avoir passé par ces ouvertures, les schistes ont en outre à franchir un seuil dont la hauteur est réglée par les leviers G.

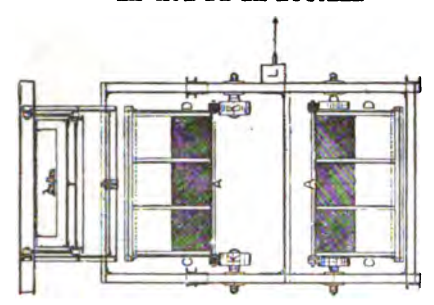
Ayant passé par les ouvertures B et C suivant les flèches du dessin, les schistes tombent au fond du bac par les deux conduits O et P, d'où ils sont évacués par deux vis d'Archimède H et un élévateur central Q dont les godets en tôle perforée laissent égoutter l'eau.

Après clarification, les fines (au-dessous de 12 millimètres par exemple) sont reprises avec l'eau de lavage par une pompe centrifuge qui les fait repasser dans un appareil laveur, où elles subissent un nouvel enrichissement avant d'être dirigées sur l'appareil sécheur décrit plus loin.

On peut repasser également des charbons barrés ou des schistes mélangés de barrés dans un second appareil laveur afin d'avoir une meilleure épuration. C'est nécessaire au moins une fois pour obtenir des produits purs.

Une disposition connexe et absolument nécessaire du système de lavage Baum est l'appareil sécheur.

L'appareil sécheur a une longueur d'environ 20 mètres et marche à une vitesse de 20 centimètres à la minute. Si on le fait tourner plus vite, la teneur en eau laissée dans le charbon est plus forte. La quantité transportée est de 2 tonnes de charbon par mètre.



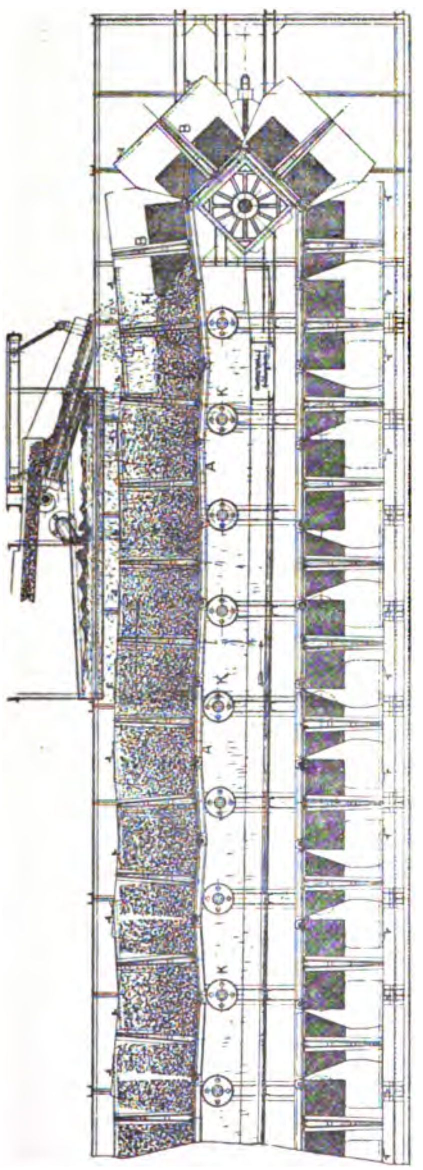


Fig. 27 C. — Appareil sécheur du laveur Baum.

L'appareil est formé de tôles perforées (*fig.* 27 C) reliées entre elles par des charnières et portant en leur milieu une double cloison verticale B formée de deux tôles perforées, légèrement écartées l'une de l'autre.

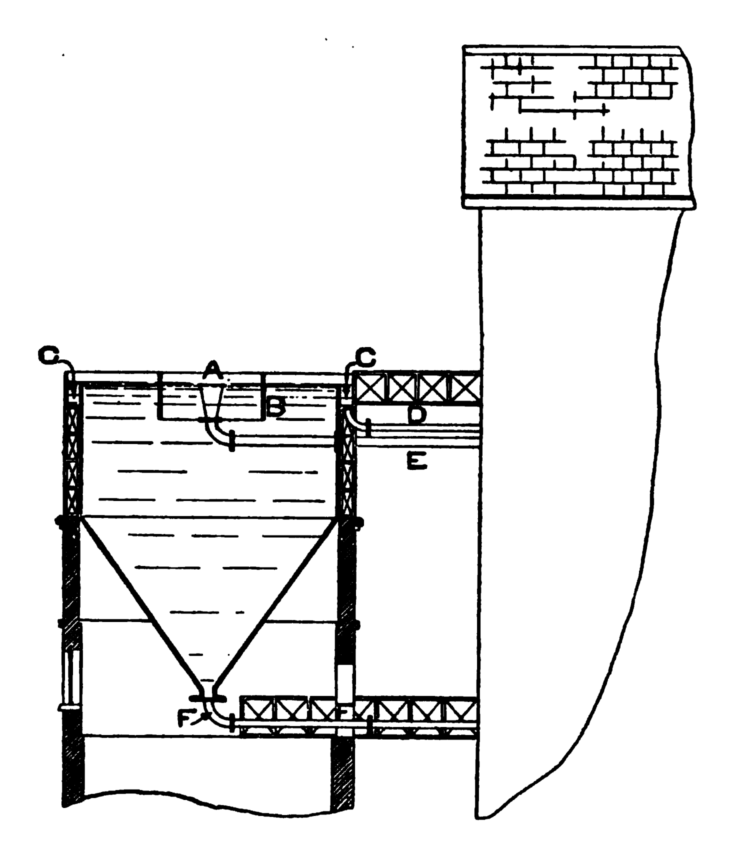


Fig. 27 D. — Caisse de décantation pour schlamms (appareil leveur Baum).

L'eau de lavage arrive avec les fines sur la série de tôles perforées et toiles métalliques EFG, qui, comme l'indique la figure, laissent passer l'eau, les schlamms, et les fines au-dessous d'un certain calibre.

L'appareil, dans son mouvement, passe sur les rouleaux de sup-

port K dont la distance et la hauteur sont calculées de manière à laisser les tôles ployer sous la charge de charbon en passant d'un rouleau à l'autre. Le charbon subit ainsi une série de pression et d'épanouissement qui l'obligent à abandonner l'eau qu'il contient.

L'eau de lavage qui a servi à transporter les fines lavées sur le sécheur, tombe constamment de I à J. Elle est forcée de traverser toute la couche de charbon et d'abandonner dans cette sorte de filtre une grande partie des schlamms qu'elle contient. Elle est ensuite recueillie en L et renvoyée au lavoir après avoir subi une seconde clarification dans des bassins.

Ces bassins sont établis de manière à récolter automatiquement les schlamms que contient encore l'eau de lavage.

Le principe est de favoriser le dépôt de ces schlamms par un arrêt aussi rapide que possible de la vitesse du courant d'eau.

Le bassin a la forme d'un cône pointu. L'eau chargée de schlamms est pompée par le tuyau E (*fig.* 27 D), qui l'amène en A ; elle rencontre le bouclier B et est ensuite forcée de traverser le bassin du centre à la circonférence, par conséquent avec une vitesse décroissant en progression géométrique, avant de tomber dans la gouttière C qui règne sur tout le pourtour du bassin. Elle est reprise, clarifiée au fond de cette gouttière par le tuyau D et renvoyée au lavoir.

Les schlamms qui tombent au fond du réservoir sont évacués d'une façon continue, sous forme de boue liquide très diluée, par le tuyau F qui les conduit soit de nouveau sur le séchoir, s'ils sont propres, où ils restent avec les fines, soit, s'ils sont très chargés en cendres, dans des bassins situés hors du lavoir d'où ils sont récoltés.

Le laveur Baum est surtout appliqué au lavage des fines pour les transformer en coke ou pour en faire des briquettes. L'installation générale est alors la suivante:

Le charbon est amené soit par une chaîne à godets, soit par un transporteur, ou tout autre moyen mécanique. Il est poussé par un courant d'eau dans le bac à pulsation.

Les schistes tombent au fond du bac, comme il a été dit précédemment, et une chaîne à godets les délivre dans un wagon en dehors du bâtiment.

Les fines lavées sont entraînées par l'eau de lavage sur le séchoir qui les amène séchées à la teneur voulue à son extrémité. Là, on peut soit les charger directement en wagons, soit les élever par une

chaîne à godets dans une trémie où elles sont emmagasinées après broyage.

L'eau, après avoir subi une première clarification en passant à travers la couche de charbon du séchoir, traverse une série de bassins de décantation où elle abandonne les schlamms qu'elle tenait en suspension. Ces schlamms sont recueillis d'une façon continue et renvoyés par une pompe sur le séchoir où ils sont arrêtés et délivrés avec les fines. L'eau complètement clarifiée est distribuée au lavoir par une seconde pompe.

L'air comprimé est donné par un compresseur rotatif.

L'énergie nécessaire est fournie soit par une machine à vapeur installée dans la chambre des machines, soit par des petits moteurs électriques placés aux endroits convenables.

La puissance nécessaire pour faire marcher le lavoir varie de 40 à 60 chevaux, suivant la capacité de l'installation.

Les installations se font pour 20, 30 ou 40 tonnes à l'heure. Elles tiennent peu de place, mais conviennent surtout à des combustibles exempts de poussier.

Appareil Kremer. — D'autres essais ont été faits pour laver le charbon sans classification préalable. Nous citerons encore dans cet ordre d'idées l'appareil Kremer.

Dans cet appareil, le charbon est amené sur un tamis à mailles de 10 millimètres placé dans un bac laveur. L'eau de ce bac est mise en mouvement par une pompe foulante. Les plus petits morceaux traversent les mailles du tamis et tombent au fond du bac, tandis que les gros restent sur le tamis et sont évacués peu à peu au-dessus d'une cloison placée à une hauteur convenable. Les schistes passent au-dessous et les charbons au-dessus. Les morceaux qui ont traversé le tamis sont repris dans un appareil laveur identique et à mailles plus serrées.

Quelle que soit l'ingéniosité de tous ces appareils, leur gros inconvénient est l'entraînement des charbons par les schistes, entraînement qui ne se produit pas autant, quand on classe avant de laver, surtout si les houilles sont poussiéreuses.

Autre principe de lavage. — Nous avons indiqué, avec théorie à l'appui, le principe de lavage généralement employé et consistant à agiter de bas en haut un certain volume d'eau pour opérer par densité le classement des charbons et des schistes, principe qui est de tous points conforme à celui de la préparation mécanique des minerais.

Les Américains, ne se contentant pas de ce mouvement ascensionnel, ont eu l'idée d'imprimer à l'eau un mouvement giratoire afin d'obtenir une meilleure classification. La méthode n'est pas

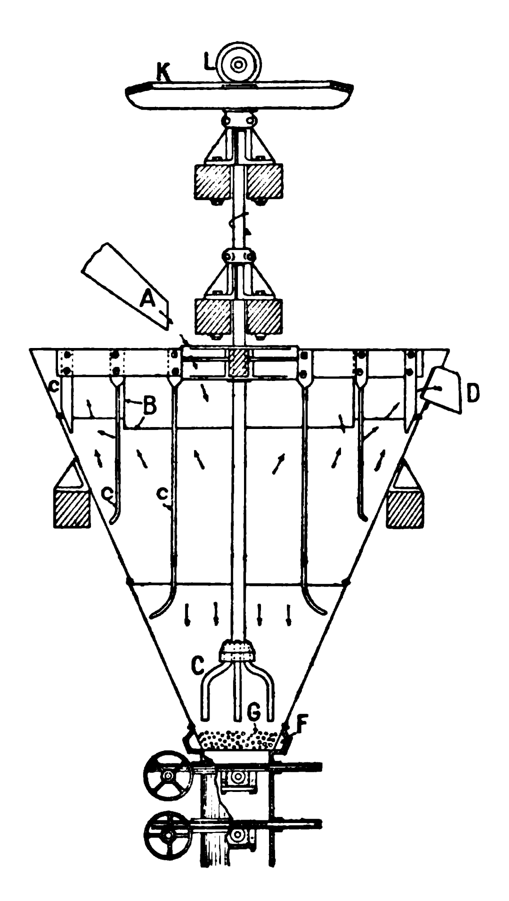


Fig. 27 E. — Laveur Jeffrey Robinson.

essentiellement conforme aux desiderata de la théorie, car l on crée une série de remous de la surface liquide qui peuvent être nuisibles au classement des matières.

Toutefois, beaucoup d'appareils laveurs sont établis sur ce prin-

cipe en Amérique, et nous décrirons l'un d'entre eux, le laveur Jeffrey Robinson.

Laveur américain Jeffrey Robinson. — Le laveur se compose d'une cuve conique en acier à l'intérieur de laquelle se meut une tige munie d'une série de bras verticaux et formant agitateur à l'aide d'un mouvement giratoire obtenu par engrenage.

Le charbon arrive par la trémie A (*fig.* 27 E) dans la partie annulaire B, tandis que l'eau d'alimentation pénètre par les trous G dans la

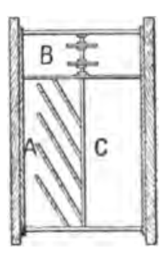


Fig. 27 F. — Appareil de récupération des schlamms Jeffrey Robinson.

partie intérieure F de la cuve. L'eau envoyée par des pulsomètres possède un mouvement ascendant qui remonte le charbon vers le sommet du laveur, tandis que les stériles tombent au fond. L'agitateur complète le classement.

Le charbon sort par le couloir D. Quant aux schistes, ils sont évacués de temps à autre par les valves figurées au bas de la cuve. On n'interrompt, pour cette vidange, que peu de temps le fonctionnement du laveur.

En outre de la cuve de lavage qui vient d'être décrite, le brevet Jeffrey Robinson comporte un appareil de récupération des schlamms.

L'appareil (*fig.* 27 F) se compose de trois compartiments A, B et C. L'eau chargée de schlamms est injectée en A pour remonter en B et redescendre en C. Dans le compartiment A se trouve une série de chicanes inclinées et munies de rugosités où se déposent les charbons fins. Une noria sert à reprendre les matières laissées en dépôt, tandis que l'eau clarifiée peut servir à nouveau pour le lavage.

Lavage des grains. — Les grains sont les produits calibrés dont les dimensions sont supérieures à 10 millimètres. Ce sont les catégories qu'on lave dans les bacs à piston munis d'une toile métallique.

Les bacs sont tous établis sur le principe que nous avons indiqué précédemment. Ils ne diffèrent entre eux que par quelques dispositions de détail. Les appareils sont nombreux et il serait trop long de décrire tous les types de laveurs qui ont été imaginés. Plusieurs d'entre eux, d'ailleurs, n'ont eu bien souvent qu'une durée éphémère.

Ils se divisent en deux classes :

1° Les laveurs discontinus ;

2° Les laveurs continus.

Le laveur discontinu est un appareil où, après chaque opération, on enlève les matières à la main ou à la pelle, quand on juge que le classement a été poussé suffisamment loin. On peut aussi reprendre les produits par un procédé mécanique, les remonter par exemple à l'aide d'une chaîne à godets.

Le laveur continu, au contraire, est toujours parcouru par un courant d'eau qu'on n'arrête qu'en cas de réparation. On règle, une fois pour toutes, l'orifice d'évacuation des matières emportées par l'eau, pour qu'elles soient bien classées, et on laisse fonctionner l'appareil, non toutefois sans opérer quelques prises d'essai. Les prises d'essai doivent être fréquentes, car l'écartement des vannes est difficile à régler et la nature des charbons peut changer. Dans ces appareils le classement est poussé moins loin au point de vue de la perfection, mais les quantités traitées sont beaucoup plus considérables. Aussi sont-ce toujours des laveurs du type continu qui sont adoptés dans les nouvelles installations.

Laveurs discontinus. — Comme premier type de laveur discontinu, nous citerons celui que Lacretelle a appliqué pour la première fois, dans des charbonnages des environs de Mons.

La caisse (*fig.* 28) est divisée en deux compartiments dont le plus grand reçoit la houille à laver. Dans le plus petit se meut le piston qui donne le mouvement à l'eau de lavage. Dans le mouvement de va-et-vient du piston les matières les plus denses sont soulevées moins haut que la houille et retombent plus vite au fond. Il en résulte qu'au bout de quinze ou vingt coups de piston, la séparation est faite. On enlève à la pelle tout ce qui dépasse le grillage FG. Au-dessous se trouvent de la houille impure, puis des schistes. Au fond de la

caisse se déposent les parties les plus légères entraînées par l'eau, c'est-à-dire les schlamms.

L'inconvénient de ce laveur, comme celui de la plupart des laveurs discontinus, est que les schlamms, s'ils sont très abondants, peuvent engorger le grillage et troubler la marche du lavage. Il faut éviter aussi que le piston n'envoie avec l'eau une certaine quantité d'air, car le classement ne se produirait plus régulièrement.

Le *laveur Graffin* est conçu sur le même principe. Le tamis est légèrement incliné pour faciliter l'arrivée et le départ des produits.

Le *laveur Sheppard* a surtout pour but d'éviter les effets de la succion qui sont nuisibles à un bon classement. A cet effet, on a disposé sous la caisse filtrante deux compartiments qui restent constamment pleins d'eau et où tombent d'ailleurs les matières après leur classement.

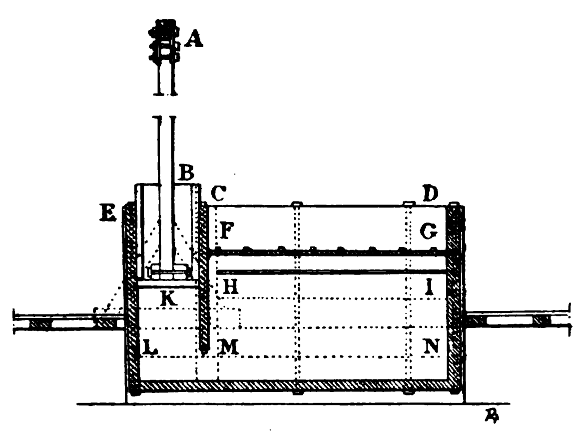


FIG. 28. — Laveur Lacretelle.

Le *laveur à vapeur Evrard* (*fig.* 29) dérive d'un principe différent. L'eau, au lieu d'être soumise à l'action d'un piston, est mise en mouvement par des admissions successives de vapeur. Les charbons se classent sous l'effet des vibrations communiquées au liquide.

Tous ces appareils sont d'un emploi peu général. Il en est de même des *laveurs Revollier*, *Ravat*, *type Bézenet*, *Beer*, *Villiers*, *Lemière*, *Laporte* et *Jourjon*, qui ne sont employés que dans quelques mines.

Laveur Bérard. — Nous décrirons avec plus de détail le laveur Bérard.

Ce laveur (*fig.* 30) est constitué, comme tous ceux de la même classe, par deux compartiments, l'un pour le piston, l'autre pour les charbons. La cloison de séparation entre les deux compartiments descend à 1^m,65 sous le bord supérieur de la caisse et à 70 centimètres sous le tamis de lavage, afin que l'action du piston se fasse sentir également

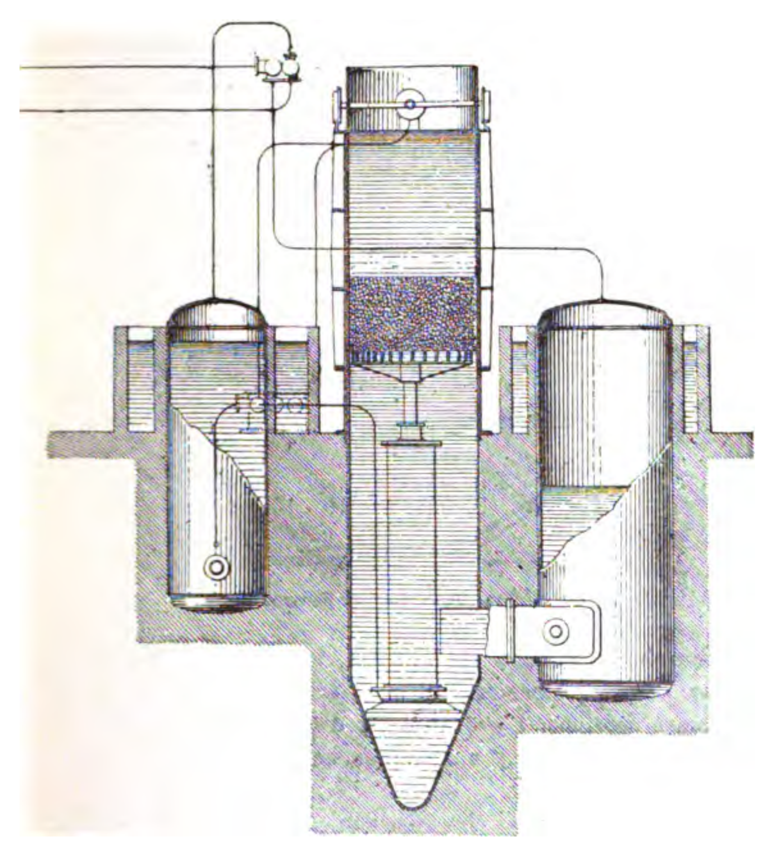


Fig. 29. — Laveur Evrard.

sur toute la surface du tamis. En même temps, le fond de la caisse est incliné, afin de mieux diriger l'eau sur ce tamis. D'un côté du compartiment de lavage des charbons et à 70 centimètres sous le bord supérieur de la caisse se trouve une vanne qui sert à l'évacuation des pierres. De l'autre côté est la vanne qui permet la sortie des charbons à la partie supérieure de la caisse de lavage.

Pour effectuer un bon lavage, l'important est de bien régler la position des deux vannes et leur distance respective. La position de la vanne d'évacuation des schistes doit être telle qu'il reste toujours une couche de 15 à 20 centimètres de schistes sur le tamis du laveur. L'écartement des deux vannes ne doit pas être trop grand, car les schistes difficilement évacués viendraient avec les charbons. Si, au contraire, il est trop faible, les schistes sortent trop facilement et emportent avec eux des charbons barrés ou même des charbons purs.

L'écartement entre les deux vannes peut se déterminer par le calcul. On trouve une valeur de 32 centimètres. En pratique, on fait varier simplement la hauteur de la vanne D, l'ouvrier ayant soin de vérifier, par des prises d'essai fréquentes, la marche de l'appareil.

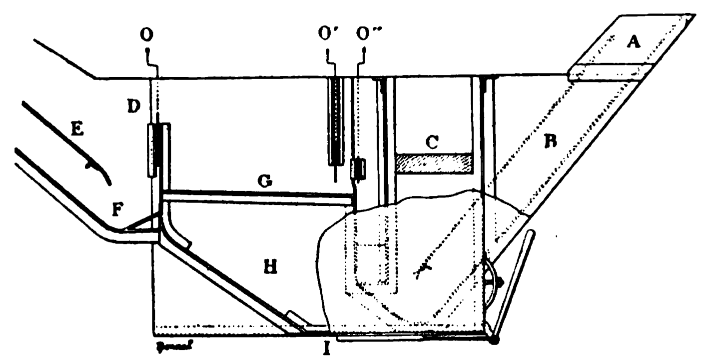


FIG. 30. — Laveur Bérard.

Les charbons, comme les schistes, sont repris par une chaîne à rasettes. Ils ne sont pas emportés par le courant d'eau, comme dans les laveurs continus. L'avantage est d'employer une moins grande quantité d'eau, mais il y a, en revanche, plusieurs inconvénients à opérer ainsi.

Tout d'abord, avec des charbons renfermant des schistes argileux qui se délaient dans l'eau, il se forme des schlamms argileux qui sont emportés et qui passent avec les charbons lavés. Il est vrai que le lavoir Bérard donne peu de schlamms en général à cause de la forte épaisseur de schistes placés sur le tamis. Cette grande épaisseur amortit d'autant les chocs. Toutefois, on aura toujours des impuretés qui saliront le charbon.

En second lieu, les chaînes à rasettes refusent parfois de fonctionner. Il s'accumule en effet du charbon soit dans les réservoirs à

schistes, soit dans ceux à charbons et le dépôt finit par durcir. La chaîne s'arrête quelques minutes, puis ne tarde pas à être coincée par l'arrivée constante de nouvelles matières.

Un appareil Bérard de 2m,50 de longueur, 1m,25 de largeur et 2m,10 de hauteur, avec deux compartiments de 75 centimètres de longueur pour le piston et de 1m,60 pour la caisse à charbon, peut laver 4 tonnes de produits par heure de travail. Il ramènera des charbons tenant 12 à 15 0/0 de cendres à une teneur de 6 à 7 0/0. Cet écart entre les teneurs ne doit guère être dépassé, car on s'expose à laisser du charbon dans les schistes.

Laveur Guilhaumat. — Le laveur Guilhaumat dérive du même

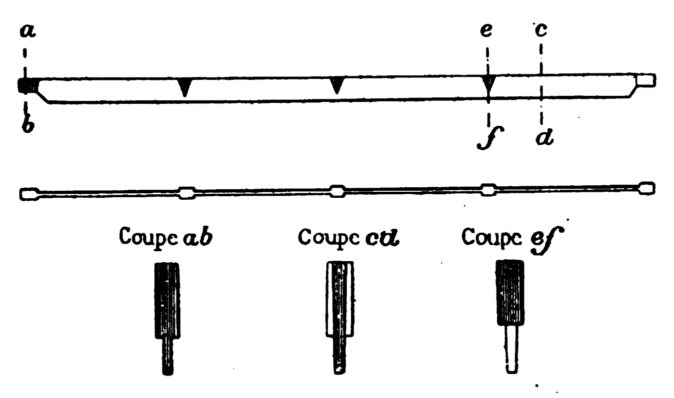


Fig. 31. — Grille du laveur Guilhaumat.

principe que le laveur Bérard. Comme celui-ci, c'est un laveur à grille filtrante, quelque peu analogue aux laveurs à feldspath que nous verrons employés pour le lavage des fines. Mais, tandis que dans le système Bérard on fait usage d'un tamis, le laveur Guilhaumat est muni d'une grille à barreaux.

Les barreaux (*fig.* 31) sont des fers méplats de 4 millimètres d'épaisseur sur 4 centimètres de hauteur disposés longitudinalement et espacés de 5 millimètres entre eux. Au-dessus de ces barreaux on maintient constamment, comme dans l'appareil Bérard, une couche de schistes de 20 centimètres d'épaisseur. Cette couche devrait être renouvelée de temps en temps par l'addition de fragments supérieurs à 5 millimètres, si on lavait des charbons criblés à 5 millimètres, c'est-à-dire des fines. Pour les catégories supérieures à 5 millimètres (c'est le cas des grains dont nous nous occupons actuellement), la couche s'entretient

d'elle-même grâce aux schistes d'une certaine dimension qui se séparent des charbons par lavage.

Comme dans le laveur Bérard, on règle le débit par l'écartement des vannes mobiles. Comme dans cet appareil et mieux que dans cet appareil, la couche de schistes s'oppose au passage des schlamms charbonneux. Ceux-ci partent avec les charbons, et l'on diminue ainsi la proportion des déchets.

Le piston laveur est en tôle et non plus en bois. Il est rempli d'eau à l'intérieur afin d'augmenter son poids et il tombe alors avec plus ou moins de force, selon sa charge. Une came en acier le fait remonter lentement.

Cet appareil passera une plus ou moins grande quantité de charbons suivant leur degré d'impureté et suivant la hauteur de chute du piston. Le plus fort débit est de 75 à 80 tonnes par poste. En traitant de faibles quantités, on peut arriver à un degré d'épuration voisin de 50 0/0.

Laveurs continus. — Les laveurs continus sont employés actuellement plus fréquemment que tous les appareils qui précèdent. Ce sont même eux qui sont exclusivement en honneur dans les installations de quelque importance. A cette classe d'appareils appartiennent les laveurs Lührig-Coppée, Schüchtermann-Kremer, ainsi que ceux qui sont fournis par la maison Humboldt, de Cologne.

Laveur Lührig-Coppée. — Dans cet appareil laveur (*fig.* 32) les surfaces du tamis et du piston sont égales. Elles ont en général $1^m,35$ de longueur sur 90 centimètres de largeur. Le fond de la caisse est formé de deux plans inclinés en sens contraire, qui n'ont pas pour but, comme on le croirait, de faciliter l'évacuation des matières stériles, mais qui tendent uniquement à diminuer les remous de l'eau à son arrivée sur le tamis. La circulation d'eau est, d'ailleurs, réglée par un robinet qui est mis en communication avec une pompe centrifuge, et dont l'ouvrier préposé aux lavages peut faire varier l'ouverture pour régulariser la marche des appareils.

Le tamis est légèrement incliné, moins pourtant que dans le laveur Graffin. Il se compose uniquement d'une tôle perforée, et il n'y a pas interposition de schistes, comme dans l'appareil laveur Bérard. Cela peut être au détriment parfois de la conservation du tamis, l'usure étant alors plus grande.

Le piston qui donne le mouvement d'oscillation à l'eau est actionné

par une coulisse différentielle Fairbairn. L'amplitude des oscillations varie, bien entendu, avec le diamètre des grains. On peut admettre, par exemple, les chiffres suivants :

Pour des grains de 10 à 25 millimètres, la hauteur de levée sera de 5 à 6 centimètres, et le nombre de coups sera de 80 par minute.

Pour des grains de 25 à 45 millimètres, l'amplitude variera entre 6 à 8 centimètres, alors que le nombre de coups tombera à 60.

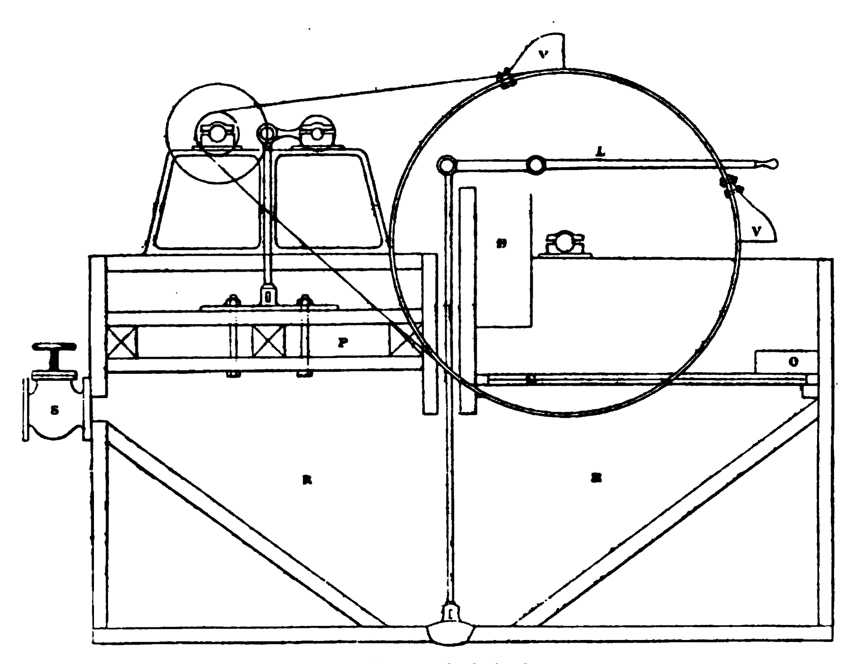


Fig. 32. — Laveur Lührig-Coppée.

Pour des grains de 45 à 80 millimètres, on ne donnera plus que 50 à 45 secousses de 8 à 15 centimètres.

Les charbons sont évacués à la partie supérieure du bac et sont dirigés dans les tours d'égouttage. Les schistes tombent à la partie inférieure et sont relevés par des chaînes à godets.

Un bac peut traiter 4 tonnes à l'heure avec une consommation de 800 litres d'eau par minute.

Laveur Schüchtermann-Kremer. — Cet appareil dérive du même principe que l'appareil précédent et n'en diffère que par les points suivants :

1° La surface du tamis est double de celle du piston. Il en résulte que les secousses à imprimer au piston doivent avoir une plus grande amplitude. La hauteur de levée du piston est de 25 centimètres en général.

2° La grille est aussi de dimensions plus considérables en longueur et en largeur. On lui donne 1m,80 de longueur sur 1 mètre de largeur. Cette augmentation favorise certainement le lavage.

3° La sortie des produits se fait par des orifices qui ont toute la largeur du tamis. Le mouvement est ainsi plus régulier et l'on perd moins de charbon.

4° Pour l'évacuation des pierres, on n'emploie plus une chaîne à godets, mais une hélice qui les conduit jusqu'à une fosse où une noria vient les reprendre.

On peut compter qu'un appareil Schüchtermann ramènera à une teneur de 6 0/0 et même de 4 0/0 des charbons contenant 15 0/0 de cendres.

Laveur à palettes. — Cet appareil est basé sur un principe différent des appareils précédemment décrits, en ce sens que pendant le pistonnage il y a entraînement mécanique des charbons sur toute la longueur de la table de lavage.

La table de lavage est constituée par un châssis recouvert de tôles perforées ou de toiles métalliques, de manière que les sections de passage de l'eau sont progressivement décroissantes depuis le commencement jusqu'à la fin de l'avancement de la charge. Sur ce cadre se meuvent des palettes qui entraînent le charbon à mesure qu'il est lavé. Une cloison divise d'ailleurs la table en deux parties de manière à bien séparer les charbons et les schistes.

Le piston agit sur toute la surface de l'eau en comprimant de l'air dans l'espace où il se meut.

La table de lavage aura, par exemple, 3 mètres de longueur et 1 mètre de largeur. La course du cadre à palettes est de 50 centimètres. Le charbon est ainsi repris six fois depuis son entrée sur le châssis jusqu'à sa sortie. Pendant ce parcours de 3 mètres, le piston donne 45 à 55 coups par minute, l'amplitude variant avec la nature des charbons. Une force de 4 chevaux suffit, en général, pour traiter, dans deux laveurs accouplés, 16 à 18 tonnes de produits par heure.

Laveur Elliot. — Cet appareil, de date assez récente, est d'origine anglaise et dérive d'un principe analogue à celui du laveur à palettes.

Il présente l'avantage d'être automatique et peut se passer de la

surveillance d'un ouvrier expérimenté de qui dépend la bonne marche du lavage. Il dépense aussi le minimum d'eau possible, ce qui est un avantage, car les dépenses d'eau sont parfois considérables dans les grandes installations de lavage.

L'appareil se compose de bacs en tôle, longs de 21 mètres, et inclinés de 1/12 sur l'horizontale. Dans le bac se meut une chaîne

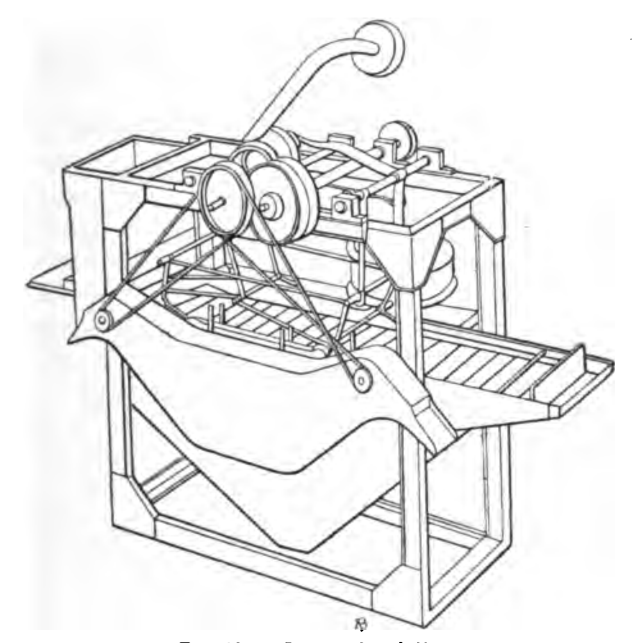


Fig. 33. — Laveur à palettes.

sans fin munie de râclettes d'acier. Le charbon arrive au milieu du bac; l'eau entre en tête du bac.

Le charbon entraîné par l'eau passe au-dessus des râclettes, qui se meuvent en sens inverse de l'eau. Il arrive ainsi de proche en proche jusqu'à une table à secousse qui forme caisse filtrante. Les schistes sont emportés vers la tête des bacs par les râclettes.

L'eau qui s'écoule à travers la table à secousse revient à une pompe centrifuge et est de nouveau renvoyée dans les bacs par cette pompe. C'est ainsi qu'on diminue la perte d'eau qui n'est que d'un dixième à peine.

Des charbons calibrés à 15 ou 25 millimètres et contenant 16 à 20 0/0 de cendres, peuvent être ramenés à 8 ou 9 0/0 d'impuretés.

LAVAGE DES FINES. — Le lavage des fines, comme celui des grenailles, s'opère à l'aide de bacs à piston.

Toutefois, un essai a été fait dans *l'appareil Meynier* pour remplacer le mouvement communiqué à l'eau au moyen d'un piston par une injection intermittente d'eau.

L'appareil a pour but de purifier des fines de 0 à 10 centimètres. On amène l'eau d'une façon intermittente, de manière que les matières se classent dans l'intervalle qui sépare chaque venue d'eau. Le charbon classé est entraîné par l'eau sur un plan incliné où l'épuration peut être complétée.

L'appareil (*fig.* 34) se compose d'une pompe aspirante et foulante, donnant 1 hectolitre d'eau par coup de piston sous une grille de $1^m,50$ de longueur et de $1^m,20$ de largeur. Sur cette grille arrivent les charbons ; un compartiment latéral permet de recevoir les schistes. Au-delà se trouve la caisse où descendent les charbons, un bassin de dépôt pour les eaux étant placé au-dessous.

On peut avec cet appareil traiter de 100 à 120 tonnes de fines par vingt-quatre heures. L'eau qui entraîne des schlamms revient à la pompe après s'être décantée. Toutefois, il y a des pertes et il faut ajouter 7 mètres cubes toutes les dix heures. La force motrice est de 6 chevaux.

L'appareil est peu répandu et dans toutes les installations on fait plutôt usage actuellement de bacs à piston dits *bacs à feldspath*.

Laveurs à feldspath. — Dans ces laveurs, le classement ne s'opère plus sur un tamis, comme dans le cas des bacs à piston. Il a lieu à travers une surface filtrante. Pour constituer cette surface filtrante, on emploie des fragments de feldspath, d'où le nom donné aux appareils.

L'orthose est, en général, choisie pour former le lit filtrant. Toutefois, comme cette matière est assez coûteuse, on a essayé de la remplacer par du quartz, des billes de verre ou de marbre, du schiste houiller, du gravier ou du laitier de haut fourneau.

Le quartz donne, au point de vue de l'épuration, des résultats supérieurs à ceux de l'orthose, mais l'usure des grains est plus grande.

Les billes de verre ou de marbre conviendront éventuellement pour des poussiers très fins. Encore faut-il y mélanger parfois des cristaux d'orthose, afin de régulariser l'opération du lavage.

Quant aux schistes houillers et aux laitiers de haut fourneau, leur emploi n'a jamais donné de bons résultats. Les grenailles se brisent trop facilement, surtout en ce qui concerne le laitier.

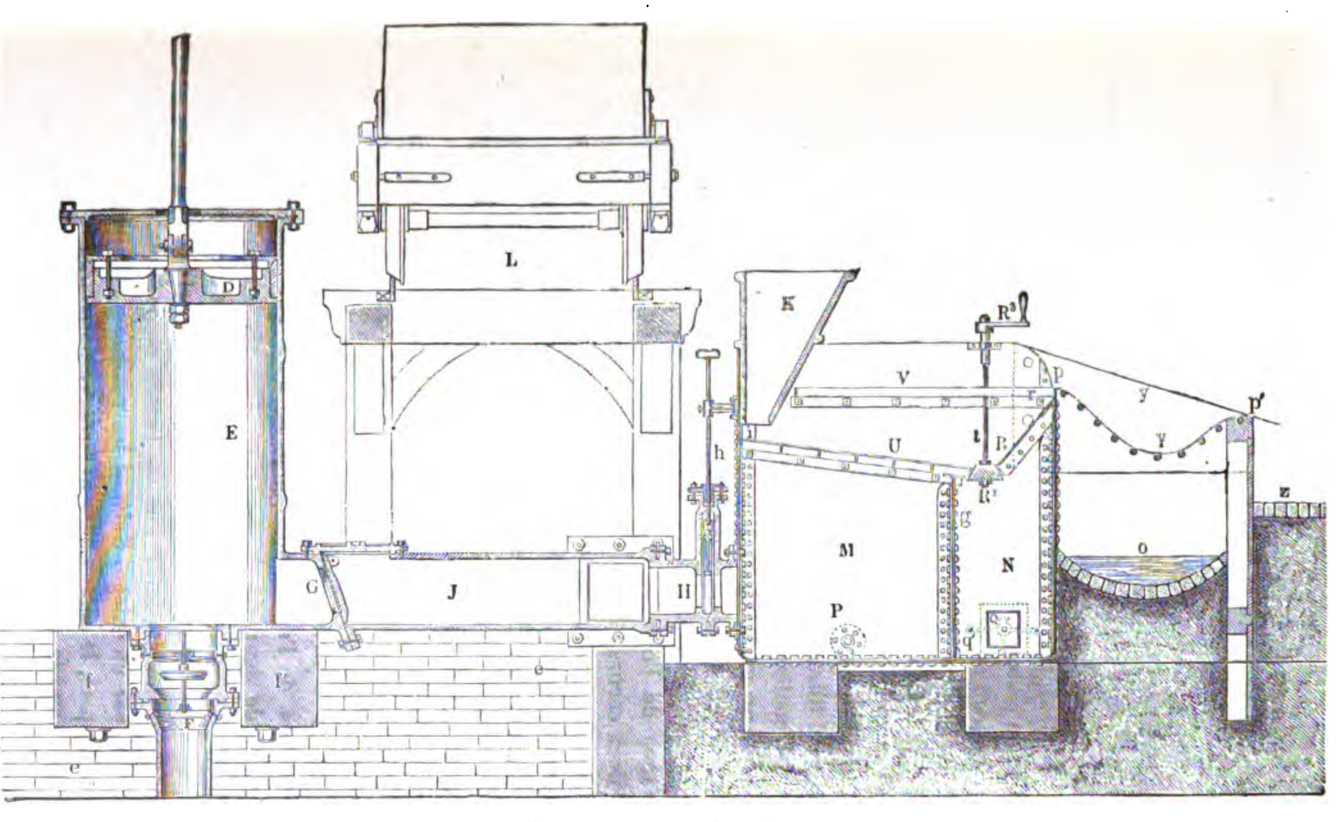


Fig. 34. — Laveur Meynier.

Aussi emploie-t-on le plus généralement l'orthose; c'est d'ailleurs elle qui se prête le mieux à la filtration telle qu'on doit la concevoir.

Les matières, comme dans tout appareil laveur, se classent par équivalence et par densité. Celles qui s'approchent du fond filtrant, c'est-à-dire les particules schisteuses qui sont les plus lourdes, sont absorbées. Les autres sont emportées par le courant d'eau.

L'absorption a lieu par le soulèvement des grains d'orthose sous l'action du piston. Ces grains pénètrent dans les matières à classer, puis retombent et englobent ainsi une partie des schistes charbonneux.

Le soulèvement des fragments d'orthose ne doit pas être trop considérable pour ne pas créer de trop grands vides. Il doit être réglé et diminuer avec la grosseur des fragments à classer, si bien que, avec des poussiers très fins, on peut croire en plongeant la main que le fond filtrant ne bouge presque pas.

Le soulèvement de l'orthose n'est d'ailleurs pas complet. C'est plutôt un mouvement d'oscillation autour de ses arêtes. Ce déplacement tend à transformer les grains d'orthose en une série de clapets qui viennent emprisonner les schistes. Il est évident que les clivages de l'orthose sont appropriés à ce mouvement particulier, mieux encore que ceux de toute autre substance. On constate d'ailleurs que ce sont surtout les clivages qui agissent, car, au bout d'un certain temps, ces clivages sont fortement émoussés.

L'épaisseur de la couche filtrante varie avec la dimension des poussiers à laver; c'est au chef laveur à la régler. L'amplitude des mouvements du piston varie également.

Le piston a une course différentielle comme dans le cas des bacs à grenaille, mais on remplace la coulisse Fairbairn par un des deux dispositifs suivants.

Dans le premier système l'arbre moteur a une section carrée à l'endroit de l'excentrique et passe dans une fenêtre rectangulaire munie de deux vis de pression. Ces vis permettent de placer le centre du disque à des distances différentes du centre de l'arbre.

Dans le second système l'arbre moteur porte deux disques excentriques, indépendants l'un de l'autre et pouvant être rendus solidaires par un calage. Suivant les positions relatives des centres de ces disques, le piston aura une course différente.

Le nombre et l'amplitude des courses du piston est en général réglé comme il suit :

CATÉGORIES	NOMBRE DE COUPS	AMPLITUDE DE LA COURSE
0^{mm} à $1^{mm},5$	125	8 millimètres.
$1^{mm},5$ à 3^{mm}	125	10 —
3^{mm} à 5^{mm}	110	14 —
5^{mm} à 7^{mm}	110	16 —
7^{mm} à 10^{mm}	110	18 —

On peut traiter un peu plus de 3 tonnes à l'heure, en réduisant à 5 0/0 de cendres des poussiers d'une teneur de 15 0/0. Pour cela, on dispose, à la suite les unes des autres, deux ou même trois caisses. Le premier tamis absorbera des schistes purs, le second un mélange de schistes purs et de schistes charbonneux, le troisième des charbons barrés. Le produit obtenu en dernier lieu sera ainsi parfaitement pur.

Appareils accessoires d'une installation de lavage. — Sous ce titre, nous rangerons les spitzkasten qui sont employés quelquefois pour obtenir le dépôt des poussiers. Nous décrirons les divers moyens de transport des produits, et, notamment, les transports au moyen de l'eau. Nous parlerons des tours d'égouttage des produits classés. Enfin nous dirons quelques mots des bassins de dépôt des schlamms.

Spitzkasten. — Le spitzkasten est une caisse pointue par le bas, où l'eau circule lentement et laisse déposer les poussiers qu'elle contient. Ces poussiers ont tendance à se classer sous l'action de trois forces, l'inertie d'abord, la pesanteur ensuite, la succion enfin provenant d'un orifice par lequel l'eau s'écoule à la base de la caisse.

On peut ainsi classer partiellement les poussiers avant de les envoyer aux laveurs à feldspath, mais ce classement, qui se fait par équivalence, n'est pas toujours favorable à une bonne séparation ultérieure dans les laveurs. En outre, le fonctionnement du spitzkasten est assez irrégulier. Dans une des caisses, si le courant est trop fort, il n'y aura rien, tandis que d'autres compartiments contiendront un amoncellement de poussiers.

Le plus souvent aussi on supprime le spitzkasten dans les installations actuelles, et l'on envoie directement les fines aux cribles à feldspath. Si, toutefois, l'on veut opérer un classement avant de laver ces fines, on fait usage des trommels comme pour les grains. La

nécessité du spitzkasten sera d'autant moindre qu'on a tendance, comme nous l'avons dit, à ne laver comme fines que les charbons brisés par les opérations précédentes de préparation mécanique.

Appareils de transport. — Dans un lavoir bien installé, les appareils de transport doivent être réduits au minimum. On y est arrivé, dans plusieurs installations modernes, en employant l'eau comme moyen de transport et en combinant les appareils de manière qu'aucun des produits successifs n'ait jamais besoin d'être relevé.

Toutefois, on ne peut pas éviter souvent de remonter certaines matières, notamment quand on veut relaver des schistes, des intermédiaires ou des charbons barrés. Il faut alors employer les chaînes à godets classiques bien que ces chaînes tiennent une grande place dans les ateliers, qu'elles absorbent une grande force motrice et qu'elles soient sujettes fréquemment à des arrêts intempestifs.

Quelquefois le transport horizontal des produits lavés, au lieu de se faire par l'eau, s'effectue au moyen de chaînes à rasettes.

On peut aussi employer avec avantage le transporteur Kreiss, que nous avons décrit au chapitre III.

Tours d'égouttage. — En sortant des laveurs, les grains se rendent dans des tours d'égouttage en charpente. Ces tours, de forme carrée, ont une section de 9 à 25 mètres carrés ; les parois sont en planches et les fonds, en forme de trémie, sont munis de vannes servant à la mise en wagons des fines.

En Allemagne et en Belgique, où les lavoirs à feldspath de grandes dimensions sont très répandus, il existe des tours d'égouttage d'une capacité de plus de 1.000 tonnes. Ces tours ont une section horizontale considérable parce que l'effet utile d'une tour est fonction directe de sa section horizontale et non de sa capacité totale. Avec une tour de grande hauteur la couche de combustible atteindrait une épaisseur beaucoup trop forte, ce qui retarderait l'égouttage. En effet, l'eau expulsée de la partie supérieure de la tour traverse toute la masse et les couches inférieures ne peuvent commencer à sécher que si l'égouttage des couches supérieures est entièrement terminé.

On emploie quelquefois, comme à Nœux où il existe un lavoir pouvant passer 2.000 tonnes par jour, des tours d'égouttage en tôle qui sont constituées par des cuves cylindriques verticales de grande hauteur, à fond conique, placées les unes à côté des autres, comme les tours en charpente. Ces tours, en tôle, sont tout aussi efficaces

que les tours en charpente. En vingt-quatre heures, des fines lavées de 0 à 8 millimètres perdent 10 0/0 de leur humidité; entrées dans la tour avec 19 à 20 0/0 d'eau, elles en sortent avec 9 0/0 seulement.

A Bessèges, il existe un grand édifice en maçonnerie faisant office de tour d'égouttage. Cet édifice a une section rectangulaire de 27 mètres de longueur sur 8 mètres de largeur. En chargeant les houilles lavées sur 6 mètres d'épaisseur, il peut contenir 750 tonnes.

L'égouttage dans les tours, qui s'opère d'abord avec rapidité, se continue ensuite avec lenteur, et l'on n'a pas intérêt à prolonger le séjour du charbon au delà d'une certaine limite, limite à déterminer pour chaque cas. Ainsi, en égouttant de la houille de 0 à 3 centimètres sortant d'un laveur Coppée et mise en tas sur une épaisseur de 2 mètres, on obtient les résultats suivants :

Teneur en eau au bout de	24	heures.......	12,50 0/0
— —	73	—	9,33 0/0
— —	119	—	7,83 0/0

Plus le charbon est gros et grenu, plus il sèche rapidement. La houille lavée en grains de 20 à 30 millimètres ne contient plus que 3 à 4 0/0 d'eau, au bout de deux heures de séjour dans une tour d'égouttage; si les grains n'ont que 10 à 15 millimètres de diamètre, la quantité d'eau contenue dans la houille au bout du même temps est de 5 à 6 0/0. Quand on traite de la houille très menue ou du poussier, il est très difficile d'en chasser l'eau que les combustibles très divisés retiennent énergiquement. Si l'on fait passer dans une tour d'égouttage des houilles lavées de 0 à 8 ou 10 millimètres, à 25 0/0 d'eau, provenant d'un laveur Lührig-Coppée, on constate qu'elles contiennent encore 10 0/0 et même quelquefois 15 0/0 d'humidité au bout de vingt-quatre heures d'égouttage. En prolongeant l'égouttage, on arrive difficilement à abaisser le degré d'humidité, parce que, à partir d'une certaine teneur limite en eau, il se produit une dessiccation de la croûte superficielle qui arrête l'égouttage des couches sous-jacentes.

Quoi qu'on fasse et quel que soit le temps pendant lequel on prolonge le séjour dans les tours d'égouttage, on n'arrive jamais à abaisser la teneur en eau au-dessous du chiffre de 5 à 6 0/0. De même qu'il ne faut pas augmenter outre mesure la hauteur des tours, il est inutile par conséquent de prolonger le séjour des charbons dans ces tours. On peut seulement activer la rapidité de l'évaporation en

employant une chaîne à godets qui remue lentement les produits.

Si l'on veut, avec les menus, faire des briquettes, il ne faut pas que ces menus contiennent plus de 6 0/0 d'eau. Il est bon même que la teneur soit inférieure à ce chiffre. On doit alors employer des appareils meilleurs mais moins économiques que les tours d'égouttage.

Divers essais ont été faits. On a imaginé à Dortmund une chambre en briques. Le mieux est d'avoir recours à des sécheurs à plaques métalliques chauffés d'une manière quelconque ou encore à des fours sécheurs. Ces appareils sont décrits plus complètement au chapitre traitant des AGGLOMÉRÉS.

Quels que soient les dispositifs employés après lavage pour le séchage, on obtiendra toujours un charbon moins cendreux, mais plus humide que le charbon primitif.

Schlamms. — Les schlamms sont souvent très embarrassants dans une installation de lavage. Il faut, pour les sécher, d'immenses bassins de dépôt, et c'est bien pour cela qu'on a renoncé le plus souvent au lavage des fines. La quantité de schlamms accumulée peut atteindre parfois 5 à 6 0/0 des matières soumises à l'épuration.

En général, le courant d'eaux boueuses, d'eaux schlammeuses se rendra dans des bassins de dépôt en maçonnerie ayant par exemple 10 à 12 mètres de longueur, 1^{m},50 de largeur et 2 mètres de hauteur. Ces bassins sont disposés de telle manière qu'on peut établir un roulement pour les assécher et qu'un ou deux d'entre eux sont toujours en curage. La dépense de main-d'œuvre pour l'enlèvement de ces schlamms est assez coûteuse.

C'est pour réaliser l'économie de cette main-d'œuvre qu'on a songé à l'emploi des *clarificateurs*. Le principe de ces clarificateurs est le suivant.

On formera le bassin de dépôt avec une série de caisses pointues en bois. Les schlamms se déposent au fond de ces caisses, d'où on les évacue de temps en temps par une soupape. Une vis d'Archimède prend alors ces schlamms pour les transporter horizontalement et une chaîne à godets les remonte jusqu'à une trémie de chargement. Ce transport horizontal et cette remonte des produits favorisent l'égouttage.

Les modifications de détail seront nombreuses pour ce transport des schlamms. Quant au dépôt il se fait toujours suivant le principe de la pesanteur. On active souvent ce dépôt en mélangeant à l'eau un lait de chaux.

On peut aussi reprendre les schlamms et les soumettre de nouveau au lavage. A cet égard, l'appareil Dorr peut rendre quelques services.

Laveur Dorr pour schlamms. — Le laveur Dorr (*fig.* 35) est un barillet en zinc où l'on fait passer un courant d'eau ascendant, en même temps que la matière est distribuée à la partie supérieure. Les grains fins sont entraînés par le courant, tandis que ceux qui sont gros et lourds tombent au fond de l'appareil.

Pour que le classement s'effectue, il faut que la vitesse ascensionnelle de l'eau soit comprise entre les valeurs que prend l'expression connue $\sqrt{\frac{(d-1)}{d}}$, suivant qu'on remplace d par la densité des charbons ou par celle des schistes.

On est arrivé de la sorte, en traitant au charbonnage de l'Espérance (Belgique) des schlamms à 42,5 0/0 de cendres, à en retirer un produit contenant 12 0/0 seulement de cendres.

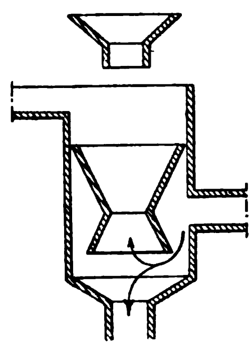


Fig. 35. — Laveur Dorr.

La caisse, qui a la forme d'un entonnoir, est pourvue d'un tamis à la partie supérieure. Une pluie d'eau entraîne les matières dans une caisse cylindrique étranglée où un courant d'eau monte de bas en haut. Les schlamms sont ainsi débourbés avant leur arrivée dans la caisse cylindrique. Le courant d'eau relève les parties charbonneuses au sommet de la caisse, tandis que les parties schisteuses tombent au fond de cette caisse et s'échappent avec l'eau en excès.

Appareil Humboldt pour lavage des schlamms. — La Société Humboldt s'est appliquée à résoudre la question de lavage des schlamms pour retirer des boues argileuses les particules contenant encore du charbon.

L'appareil (*fig.* 35 *bis*) dérive du principe de lavage cher aux Américains. Il comporte des agitateurs actionnés par un arbre *d*. En dehors de ce mouvement des agitateurs, des secousses sont imprimées aux tamis *b* et *c* à 750 mailles par centimètre carré, pour faciliter encore l'opération de classement. Enfin, un courant d'eau fraîche amené par la conduite *i* enlève les boues qui peuvent adhérer au charbon.

Les schlamms arrivent en *g*. Les parties les plus ténues passent au-dessus des tamis et sont évacuées à la partie supérieure.

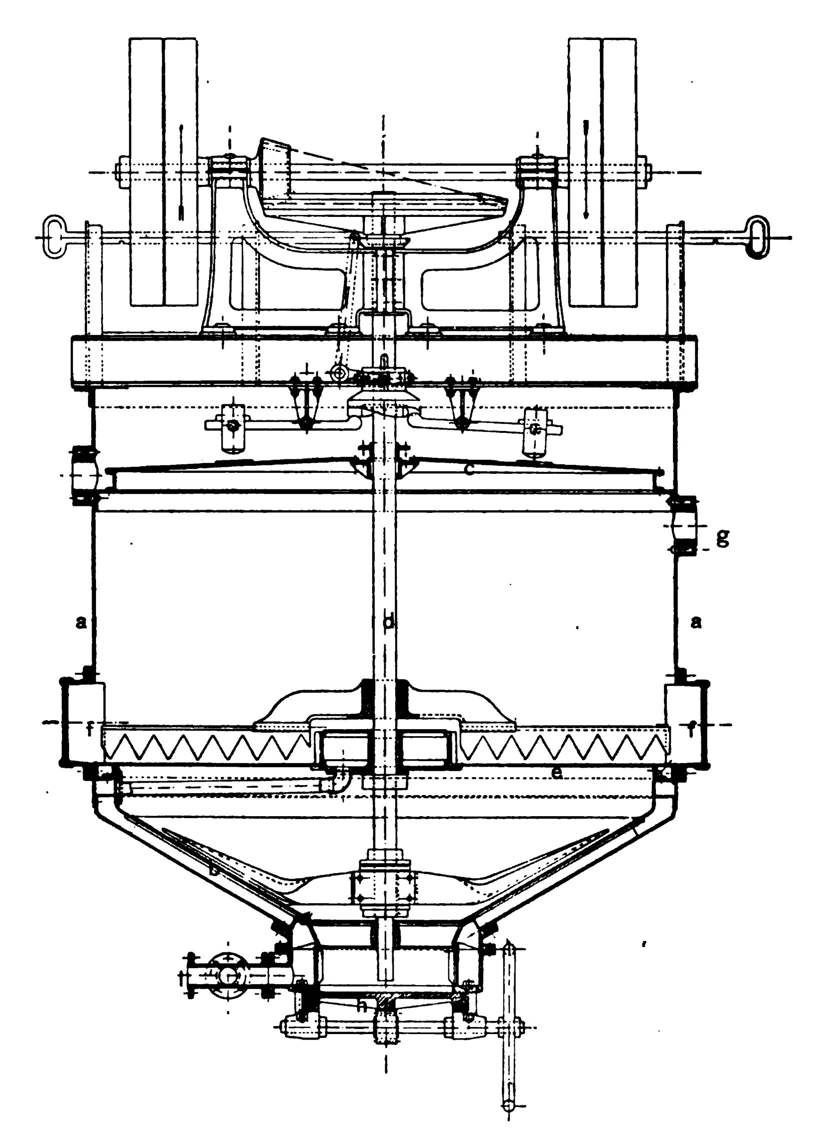


FIG. 35 A. — Appareil de lavage des schlamms système Humboldt.

Les schistes tombent au fond de l'appareil à travers le tamis *e* à

mailles larges, et sont évacués de temps à autre par le registre h, tandis que les charbons restent dans l'appareil, qui est aussi à fonctionnement discontinu. En raison de ce fonctionnement, il est bon de prévoir deux installations similaires de lavage des schlamms dans une laverie d'une certaine importance.

Turbo-classeur Blanc pour schlamms. — Le principe de l'appareil consiste à porter au maximum l'agitation des matières que les Américains réalisent dans leurs laveurs. Le turbo-classeur Blanc se compose d'une pompe centrifuge qui aspire le mélange d'eau et de charbon pour le refouler dans un bassin de décantation. Le passage des eaux schlammeuses doit être réalisé plusieurs fois pour assurer une séparation parfaite des impuretés.

Dans le mouvement giratoire de la pompe, les parties schisteuses et surtout les boules argileuses mélangées au charbon sont séparées et rejetées d'une manière continue par une tubulure latérale. On règle à cet effet, et une première fois, la vitesse à l'aide d'un papillon interposé sur la conduite de la pompe.

Les essais qui ont été faits de cet appareil l'ont été avec une pompe de 400 millimètres de diamètre faisant 300 tours à la minute. Avec une hauteur d'élévation de $1^m,10$ et un débit d'eau de 11 litres à la seconde, on peut classer à l'heure 6 à 8 tonnes de fines de 0 à 8 millimètres.

L'appareil pourrait ainsi s'appliquer au lavage de certains schlamms qu'il est trop coûteux et même parfois impossible de traiter dans les laveurs ordinaires.

Prix de revient. — Le prix de revient moyen du lavage peut s'établir comme suit :

Salaires	$0^f,15$
Fournitures	0 ,02
Force motrice	0 ,10
Entretien	0 ,15
Frais généraux et divers	0 ,33
Ensemble	$0^f,75$

Les différents éléments ci-dessus varieront assez sensiblement avec les circonstances.

Tout d'abord, les salaires ne sont pas les mêmes dans les divers

pays ou même dans les diverses régions d'un même pays. En outre, l'état du matériel, son degré d'amortissement, son ancienneté plus ou moins grande influent sur les chiffres indiqués pour les fournitures et pour l'entretien.

Enfin le facteur le plus important est la propreté des charbons soumis au lavage. Il est bien évident que des combustibles à 14 0/0 ou à 25 0/0 de cendres ne coûteront pas les mêmes prix à laver. Tout dépend aussi du degré auquel est poussé le déschistage. Les prix qui ont été donnés ci-dessus s'appliquent à un lavage fait à 16 0/0 de déchets inutilisables.

Exemple d'installation. — Nous terminerons ce qui a trait au lavage des charbons en décrivant sommairement une des installations les plus récentes. Nous choisirons celle qui a été faite par la maison Evence Coppée aux mines d'Aniche dans le but de passer en dix heures de travail 2.000 tonnes de charbon criblé à trous ronds de 40 millimètres.

Les quantités à traiter sont les suivantes :

0 à 3 millimètres,	35 0/0,	700	tonnes,	à laver à volonté.
3 à 9 —	35 0/0,	700	—	à laver.
9 à 25 —	22 0/0,	440	—	à laver.
25 à 40 —	8 0/0,	160	—	à laver.
		2.000	—	

Pour le traitement des 1.400 tonnes de 0 à 9 millimètres, il y a 30 laveurs à feldspath, dont 4 pour le relavage des schistes.

Pour les 600 tonnes de grains, il y a 10 laveurs de $1^m,200$ de largeur intérieure; 2 de ces laveurs seront utilisés pour le relavage des schistes provenant des 8 autres. En outre, l'emplacement de 2 laveurs à grains supplémentaires est réservé pour l'avenir.

Pour créer les catégories, on emploie des cribles à tôles perforées à trous de 25, 15 et 9 millimètres qui donnent les classes suivantes :

1° 25 à 40 millimètres	qui sont lavés dans les laveurs à grains
2° 15 à 25 —	
3° 9 à 15 —	
4° 0 à 9 —	qui sont envoyés sur les cribles inférieurs.

Les cribles inférieurs sont à tôles perforées ayant des trous de 6 millimètres; ils donnent les classes suivantes :

1° 6 à 9 millimètres } qui sont lavés dans 14 laveurs à feldspath;
2° 3 à 6 — }
3° 0 à 3 — qui sont soit directement versés dans les tours à poussiers, soit lavés dans 12 laveurs à feldspath.

Les schistes des 26 laveurs à feldspath sont conduits dans une citerne, d'où une chaîne les relève dans 4 laveurs à feldspath pour être relavés.

Les schistes provenant du lavage des grains sont lavés aussi à nouveau. Ils sont relevés par des chaînes à godets et versés dans des laveurs à grains qui pourront relaver ces schistes séparément pour chaque grosseur.

Après ce second lavage, les schistes finaux des grains et les poussiers vont à la citerne d'une chaîne à godets qui, à son tour, les relève dans une tour à schistes.

Les grains lavés de 9 à 40 millimètres sont emmagasinés dans des tours de chargement après avoir été égouttés préalablement sur des tamis fixes. Les eaux d'égouttage font retour dans le circuit des eaux et viennent déposer les fines qu'elles peuvent contenir dans les citernes du sous-sol du lavoir. Si, pourtant, leur degré de pureté ne permet pas d'agir ainsi, ces eaux vont directement au bassin de décantation des schlamms.

Les charbons lavés de 3 à 9 millimètres, et éventuellement les petits grains de 9 à 15 millimètres, sont conduits dans les bassins; des chaînes à fines lavées les relèvent en les égouttant sur le transporteur placé au-dessus des tours, pour les emmagasiner dans celles-ci.

Les eaux chargées de schlamms provenant des bassins des charbons lavés sont clarifiées dans deux bassins de dépôt munis chacun d'une chaîne à godets relevant les schlamms.

L'installation offre l'avantage de réduire au minimum les pertes, surtout les pertes en schlamms, par suite de l'emploi de bassins de grandes dimensions ne laissant jamais échapper des eaux de lavage en cours de marche.

Une machine à vapeur sert à donner le mouvement aux appareils de criblage, de lavage et de transport du lavoir, ainsi qu'aux pompes centrifuges. Ces pompes sont au nombre de trois pour desservir toute l'installation des lavoirs.

CHAPITRE V

DÉFINITION INDUSTRIELLE ET ACHAT DE LA HOUILLE

Charbon lavé ou non lavé. — *Appellations commerciales.* — Gros. — Mi-gros. — Menu. — Tout-venant. — Produits lavés. — *Répartition industrielle des charbons dans divers bassins houillers.* — Bassin du Pas-de-Calais. — Bassin du Nord. — Bassins du Centre. — Bassins du Midi. — Appellations spéciales des charbons à Paris. — *Achat de la houille.* — France. — Russie. — Italie. — Belgique. — Angleterre. — Emmagasinage de la houille.

Savoir acheter le charbon est une science pour l'industriel. Suivant qu'il choisira telle catégorie plutôt que telle autre, il réalisera ou non des économies de chauffage, et il obtiendra une plus ou moins grande vaporisation dans ses appareils à vapeur.

Les propriétés chimiques que nous avons données au chapitre I ont une grande influence. Il faut aussi choisir dans les tableaux de classification qui ont été indiqués la qualité de houille qui s'applique à chaque genre de chaudière. Et, comme les appellations commerciales ne correspondent pas toujours aux noms figurant sur ces tableaux, nous indiquerons la concordance des appellations commerciales avec la nature chimique des charbons. Nous donnerons aussi la répartition de cette même nature chimique des charbons dans les principaux bassins houillers.

Charbon lavé ou non lavé. — Au point de vue commercial, un charbon non lavé et très soigneusement trié est préférable à un combustible lavé, quelque parfait qu'ait été le lavage. Si l'on peut sans lavage obtenir un produit excessivement pur, c'est assurément la meilleure des conditions.

Le charbon lavé retient toujours une certaine quantité d'eau. On a vu au chapitre précédent que la proportion est de 5 à 6 0/0. Le charbon est terne; son aspect est moins beau. Il est juste de dire qu'on est

plus certain aussi d'avoir une teneur moindre en cendres, teneur toujours bien déterminée et parfaitement constante.

Plusieurs Compagnies de mines ont fait des essais pour se rendre compte de l'avantage ou du désavantage qu'elles auraient à trier seulement les charbons ou bien à procéder en outre à leur lavage. Aux mines de Commentry (Allier), des expériences renouvelées à plusieurs reprises ont montré un avantage marqué en faveur du lâvage pour les produits de 20 à 55 millimètres, dont la teneur en cendres était assez élevée et atteignait 25 0/0. Le triage n'arrivait à donner que 15 0/0 comme teneur finale en cendres, tandis qu'on obtenait au lavage 13 0/0. Ce triage était aussi d'un prix de revient beaucoup trop élevé.

En général, on lave les catégories de dimensions comprises entre 5 et 25 millimètres. Toutefois la règle n'est pas générale, et l'on peut laver au-dessus et au-dessous de ces limites.

Les gros morceaux n'ont pas besoin d'être lavés, car, avec un peu de soin, ils seront aisément épurés à la main, même dans le cas où ils sont barrés. Un *scheidage*, c'est-à-dire une fragmentation, en expulse les schistes.

Quant aux fines, ainsi que nous l'avons dit, il n'y a pas intérêt, le plus souvent, à les soumettre au lavage. Si elles contiennent beaucoup de cendres, on n'expulsera les impuretés qu'au prix de grandes pertes sous forme de schlamms. Si elles contiennent peu de cendres, le lavage est inutile.

Appellations commerciales. — Avec les régions, notamment en France, les appellations commerciales varient pour un charbon de même calibrage. Pour mieux synthétiser et comparer ces appellations aux produits de dimension géométrique qu'elles caractérisent, nous les ferons toutes rentrer dans une classification à trois termes, qui serait peut-être la meilleure à adopter dans toutes les mines pour éviter certaine confusion dans les esprits.

En premier lieu, nous plaçons le *gros*, c'est-à-dire le charbon de 50 à 150 millimètres et plus.

En second lieu, viendra le *mi-gros*, ou charbon compris entre 25 et 50 millimètres.

Enfin nous considérerons le *menu*, ou charbon de 0 à 25 millimètres.

Gros. — Dans le bassin franco-belge, les catégories supérieures à 50 millimètres reçoivent les noms suivants :

Perat, *houille*, *gros à la main*, *grosse gailletterie*, pour les morceaux supérieurs à 150 millimètres;

Gailletterie, *petite gailletterie*, pour les catégories comprises entre 60 et 150 millimètres;

Gailletin, pour les morceaux de 50 à 60 millimètres.

Dans les bassins du Centre, les appellations sont moins nombreuses :

Gros à la main, pour le charbon au-dessus de 150 millimètres;

Gros carré, *purgé de menu*, *sans menu*, *gaillette*, pour les catégories de 50 à 150 millimètres, en moyenne.

Dans le bassin de la Loire, on appelle :

Débris, *grelassons*, les morceaux au-dessus de 150 millimètres;

Grêles, les charbons de 80 à 150 millimètres;

Châtilles, les charbons de 40 à 80 millimètres.

Enfin, dans le bassin du Gard, on a :

Les *grêlons*, pour ce qui est supérieur à 150 millimètres;

Les *grêles*, pour ce qui oscille entre 70 et 150 millimètres;

Les *grains*, pour ce qui est compris entre 40 et 70 millimètres.

Dans le bassin de Pennsylvanie, pour les anthracites, on distingue les deux catégories suivantes, qui sont réalisées en général par broyage :

Les *cassés*, dont les dimensions sont supérieures à 75 millimètres;

Les *œufs*, dont le diamètre dépasse 65 millimètres.

En outre, on vend les *mottes*, ou charbons de 250 millimètres, et la qualité *bateau à vapeur* de 130 millimètres; mais ces qualités ne sont pas soumises au broyage.

Mi-gros. — Dans le bassin franco-belge, les charbons qui ont 25 à 50 millimètres s'appellent *têtes de moineaux*. C'est surtout dans les qualités maigres ou dans les anthracites qu'on fait avec ces charbons les subdivisions les plus nombreuses.

A Blanzy, ces mêmes charbons s'appellent *grelats*, ou *grosses braisettes*. Au Creusot, ils s'appellent *grelasses*.

Dans le bassin de la Loire, les catégories ayant une dimension comprise entre 20 et 45 millimètres sont les *dragées*.

Dans le bassin du Gard, ces mêmes catégories s'appellent *grenailles*.

Enfin, dans le bassin de Pennsylvanie, il y a deux subdivisions :

L'une, supérieure à 37 millimètres et dite *poêle;*

L'autre, supérieure à 23 millimètres et appelée *noix*.

Menu. — Dans le bassin franco-belge, la division des menus s'opère en quatre catégories :

1° Les *noisettes*, dont les dimensions sont comprises entre 15 et 25 millimètres, les subdivisions variant avec les catégories de charbon et étant plus nombreuses pour les houilles demi-grasses que pour les houilles grasses ou maigres ;

2° Les *braisettes*, susceptibles d'un plus grand nombre encore de classifications, qui varient entre les limites extrêmes de 8 et de 20 millimètres ;

3° Les *grains*, dont les dimensions sont comprises entre 5 et 10 millimètres ;

4° Les *fines* et *poussiers*, dont les dimensions ne devraient pas dépasser 5 millimètres. Ceci est vrai pour les charbons gras ; mais, pour les demi-gras et pour les maigres, on vend jusqu'à des fines de 50 millimètres.

Dans le Centre de la France, on trouve :

A Blanzy, la *fine braisette*, ou charbon de 15 à 25 ; le *pulvérulent*, ou catégorie de 0 à 10 ;

A Commentry, les *braisettes*, de 18 à 30 ; et les *menus*, de 0 à 18 ;

Au Creusot, la *grenette*, de 18 à 25, et le *menu*, de 0 à 18.

Dans le bassin de la Loire, on a les *grenettes*, petites ou grosses, dont les dimensions varient entre 12 et 15 millimètres. Quant aux menus, ils sont désignés sous les noms de *menu grenu*, *menu fin*, *fin fin*, *malbroug*, suivant la nature de leur composition.

Dans le bassin du Gard, certains charbons inférieurs à 25 millimètres s'appellent encore *grenailles*. Au-dessous sont les fins.

Dans le bassin de Pennsylvanie, les *pois* sont les charbons supérieurs à 15 millimètres, et les *grains de blé*, ceux supérieurs à 10 millimètres.

Tout-venant. — Au lieu d'acheter les produits calibrés, en anglais *screenings*, on peut se procurer le charbon tel qu'il sort de la mine. C'est ce qu'on appelle le *tout-venant*.

Le tout-venant n'est pas toujours vendu tel qu'il sort de la mine, car l'exploitant ne serait pas assez sûr de la composition qu'il livre. Il vaut mieux cribler le combustible, puis le trier par sorte et enfin *reconstituer* les sortes, c'est-à-dire mélanger à nouveau ces produits de manière à obtenir exactement les proportions des catégories commerciales dites *25*, *30*, *45* et même *60 0/0*.

Un tout-venant est dit à 25 0/0 quand il renferme 25 0/0 de mor-

ceaux n'ayant pas traversé une grille à barreaux longs espacés de 30 millimètres ou une tôle à trous ronds de 50 millimètres de diamètre.

En général, dans nos exploitations houillères, la moyenne des tout-venants qu'on peut faire ne dépasse pas une teneur de 30 à 35 0/0 en criblé. Pour obtenir des produits à 40, 50 et 60 0/0, ce qu'on appelle, dans le commerce, les *fortes compositions*, par opposition au 25 0/0, qu'on appelle *industriel*, il faudra renforcer avec des produits supérieurs à 30 millimètres barreaux longs ou 50 millimètres trous ronds.

On fait une certaine réserve de ces produits. Puis on choisit les jours où seront surtout demandées les fortes compositions. Enfin, on observe si le charbon remonte plus ou moins gros de la mine. On arrive ainsi à donner au client des compositions qui ne seront ni trop fortes ni pas assez fortes.

En Angleterre, dans le pays de Galles notamment, la tendance est de ne remonter que le gros et de ne tolérer dans les wagonnets de mine qu'une proportion très faible de menu, 15 0/0 seulement. On obtient ainsi des tout-venants à très forte composition.

Un appareil permet de doser, au sortir de la mine, la quantité de menus contenue dans le wagonnet. Cet appareil est le *billy fair play* (*fig.* 36). Si la quantité de menus dépasse la proportion admise, une retenue est faite sur le salaire de l'ouvrier, retenue analogue à celle qu'on fait en France quand les charbons sont trop sales.

Fig. 36. — Appareil anglais de dosage du menu appelé *billy fair play*.

Le billy fair play consiste essentiellement en une trémie suspendue sous la grille fixe où viennent se basculer les charbons. Cette trémie reçoit les menus, et une aiguille marque sur une échelle divisée la quantité des menus. Après cette pesée, on ouvre la trémie pour la décharger.

Produits lavés. — Commercialement, les charbons lavés contiennent 8 0/0 de cendres, ce que ne peuvent pas arriver à produire par triage des exploitations où les charbons sont très sales. Tout dépend de la teneur initiale en cendres. Il faut que cette teneur ne dépasse pas 12 à 15 0/0. Si elle était de 25 0/0, le lavage ne donnerait que 13 0/0. Quelques cendres sont aussi difficiles à laver.

Dans les principales exploitations françaises où s'opère le lavage des charbons, les diverses catégories portent les noms suivants :

Aux mines de Nœux (Pas-de-Calais), on distingue les petites gaillettes de 30 à 50 millimètres, les grains de 8 à 25 millimètres, les fines de 0 à 25 millimètres ou de 0 à 8 millimètres;

Aux mines d'Ostricourt (Pas-de-Calais), on vend des têtes de moineaux de 30 à 50 millimètres, et des braisettes de 20 à 30 millimètres ;

Aux mines de Ferfay (Pas-de-Calais), on lave des noix de 22 à 30 millimètres et des braisettes de 10 à 22 millimètres ;

Aux mines de Douchy (Nord), on fait des noisettes lavées de 24 à 40 millimètres et des grains lavés de 8 à 24 millimètres;

Aux mines d'Épinac (Saône-et-Loire), on vend du tout-venant lavé dont les produits composants sont de la braisette, de la noisette et des menus.

Aux mines de Bézenet (Allier), on fait des gaillettes de 30 à 60 millimètres, des gailletins de 20 à 30 millimètres et des menus lavés.

Aux mines de Saint-Éloy (Puy-de-Dôme), qui appartiennent à la même compagnie, on ne fait que des gaillettes lavées de 30 à 50 millimètres.

Aux mines de Messeix (Puy-de-Dôme), on fait avec l'anthracite des gailletins de 25 à 60 millimètres et des menus de 10 à 25 millimètres;

Les mines de Champagnac (Cantal) classent leurs charbons lavés en gaillettes de 30 à 40 millimètres, en grelasse de 18 à 30 millimètres, en braisette de 12 à 18 millimètres, en grains de 9 à 12 millimètres et en menus de 0 à 9 millimètres;

Aux mines d'Aubin (Aveyron), on classe les houilles lavées en petit grêlé de 34 à 70 millimètres, en noisette n° 3 de 27 à 34 millimètres, noisette n° 2 de 19 à 27 millimètres, noisette n° 1 de 12 à 19 millimètres, menu lavé de 0 à 12 millimètres.

Ce ne sont là que des exemple sindiquant quelques-uns des termes commerciaux employés pour désigner les charbons lavés. On a vu au chapitre Lavage le nombre assez grand de catégories qu'on peut arriver à constituer.

Répartition industrielle des charbons dans divers bassins houillers. — Nous donnerons, pour les principaux bassins houillers connus, une répartition sommaire des houilles, conformément à la classification précédemment indiquée de Gruner ; puis nous repren-

drons en détail cette répartition pour les mines les plus importantes en France.

1° HOUILLES SÈCHES A LONGUE FLAMME

France. — Mines de Blanzy, la Chapelle-sous-Dun, Saint-Éloy et Decazeville.

Belgique. — Mines du Haut-Flénu, Belle-et-Bonne (fosse n° 2), Levant-du-Flénu, Couchant-du-Flénu.

Angleterre. — Mines de Torbane, Inchross, Boghead, Coppers et Bathvale près Bathgate dans le bassin de la Clyde;

Mines de Wigan dans le bassin de Lancashire;

Mines de Leeswood dans le bassin de Flintshire.

Allemagne. — Étage supérieur du bassin de la Saar;

Quelques couches du bassin de Zwickau Chemnitz.

Russie. — Partie nord-est du bassin du Donetz aux environs de Lissitschansk.

2° HOUILLES GRASSES A LONGUE FLAMME

France. — Mines d'Anzin, Béthune, Bruay, Courrières, Lens, Liévin, Marles, Vicoigne-et-Nœux, de la Loire, Montrambert, Firminy, Blanzy, Commentry, Épinac, Ronchamp, Decize, Aubin, Albi, Carmaux, Decazeville.

Belgique. — Mines du Grand-Hornu, Nord du Bois-de-Boussu, Grand-Buisson.

Angleterre. — Mines de Felling, Pelaw, Pelton, South-Peareth, Bowden-Close, Willington, Garesfield dans le bassin de Northumberland;

Charbons de Silkstone Brights Gas Coal et de Silkstone Hard dans le bassin de Midland;

Charbon des veines Little Row, Old Whitfield, Bowling Alley, Holly Lane, Hard Mine (Whitfield Colliery) dans le bassin de North Staffordshire;

Mines de Donnington, Madeley, Ketley, Broseley dans le bassin de Shropshire;

Charbons de la série supérieure du bassin de Bristol;

Charbons des environs de Leeswood Green dans le bassin de Flintshire;

Charbons des veines Top Yard, Main Seam, Yard Seam et Nant Seam dans le bassin de Denbighshire;

Charbon de la veine Mynyddysllwyn, près de Newport dans le bassin de South Wales;

Charbons des veines Ell, Main Pyotshaw, Virtue Well, Killtongue et Drumgray dans le bassin de la Clyde;

Charbonnages de Hurlford, Skerrington et Eglinton (Main Seam) dans le bassin de l'Ayrshire;

Mines du district de Lesmahago.

Allemagne. — Mines du district de Zwickau Chemnitz ;
Septième couche, dans le district de la Basse-Silésie;
Mine Léopold dans la Haute-Silésie ;
Veine Grasskohl à Jamesgrube, dans le bassin d'Aix-la-Chapelle ;
Couche Heinrich à Gerhardgrube, couche August à Heinitzgrube et quinzième couche à Grubenwalder, dans le bassin de Sarrebruck ;
Mines Hibernia, Dalbusch, Alma, Consolidation, Wilhelmine, Victoria, dans le bassin de la Ruhr.

Russie. — Mines de Tcherbinofka, Korenief Tchipilof, Maximof, Doukofski, dans le bassin du Donetz.

Amérique du Nord. — Région de Pittsburgh en Pennsylvanie.

Japon. — Mines de Sorachi, Horonai, Namazuda, Usni, Akaike, Kassuno, Onada.

Inde. — Mines du district d'Assam.

3° HOUILLES MARÉCHALES

France. — Mines d'Aniche, Anzin, Bully-Grenay, Dourges, Drocourt, Ferfay, Lens, Vicoigne-et-Nœux, de la Loire, la Péronnière, Firminy, Saint-Étienne, Villebœuf, Blanzy, Bézenet, Brassac, Épinac, Ronchamp, Bessèges, Lalle, Albi, Carmaux.

Belgique. — Mines de Agrappe, Bellevue, Elouges, Haine Saint-Pierre, Bois-du-Luc, la Louvière, Bracquegnies, Mariemont, Saint-Martin (fosse n° 3), Trieu-Kaisin, Poirier (fosse Saint-Louis).

Angleterre. — Mines de Haswell, Hartley, dans le bassin de Northumberland (charbon de la veine Hutton);
Mines du district de Wigan, dans le bassin de Lancashire;
Charbons d'Ebstock Colliery et de Whitwick Colliery dans le bassin de Leicestershire ;
Mines du bassin de South-Staffordshire ;
Charbons du Pennant dans le bassin de Bristol.

Allemagne. — Puits Barillon à Herne Bochum, mine Altenwald dans le bassin de Sarrebruck ;
Mine Königin Luise dans le bassin de la Haute-Silésie ;
Couche B de la mine Verein Westphalia dans le bassin de la Ruhr;
Mine Catharina en Bavière.

Russie. — Région d'Almaznaia dans le bassin du Donetz.

Inde. — Mines des districts de Raniguny, de North Karanpura, d'Aurunga.

4° HOUILLES A COKE

France. — Mines d'Aniche, Anzin, Béthune, Douchy, Dourges, Drocourt, l'Escarpelle, Vicoigne-et-Nœux, de la Loire, Firminy, Saint-Étienne, Ahun, Brassac, Bessèges, Graissessac, la Grand'Combe, Portes-et-Sénéchas, Rochebelle, Albi, Carmaux.

Belgique. — Mines du Midi du Flénu, Bascoup, Sars-Longchamp, Houssu, Bayemont (fosse Saint-Charles), Sacré-Madame, Lodelinsart, Sars-les-Moulins (fosse n° 7), Carabinier (fosse n° 2), Gouffre.

Angleterre. — Mines de Marley-Hill, Wylam, Townley Etherley, Brancepeth, Black Boy, dans le bassin de Northumberland;

Mines du bassin de Cheshire (Dukinfield Colliery, Rushy Park, etc.);

Mines de la Forest de Dean (Park End Colliery);

Charbonnages de Abercarn, Cwm Tylery et Risca près Newport;

Charbonnage de Cwm Ffrwd près Pontypool dans le Monmouthshire, bassin de South Wales;

Charbons des veines Pump Quart, Fiery, Llangennech dans le Carmarthenshire, bassin de South Wales.

Russie. — Mines de Iousovo, Routchenko, Makiefka, Ekaterinofka, Berestof, Gorlofka, Volintsevo, Bielaia, Ouspenskaia, dans le bassin du Donetz.

Allemagne. — En Westphalie, couches Pluto, Anna, Siebenhandbank, Sonnenschein, Stennmannsbank; Mines Zollverein, Luise Tiefbau, Providence, Präsident, Gluckburg (couches Franz et Flottwell), Krone, König-Wilhelm, Obernkirchen;

Dans le bassin d'Aix-la-Chapelle, couche Furth, à Neulangenberggrube;

Dans le bassin de Sarrebruck, couches Beier et Natzmer à la mine Dudweiler, couche Beust à Heydtgrube, couches Astergrube et Blücher à Heinitzgrube;

Dans le district de Haute-Silésie, couches Heinitz, Espérance, Reden, Gerhard, Heintzmann, Pochhammer;

Dans le district de Basse-Silésie, mine Renard et deuxième couche.

Inde. — Mines du district de Singareni.

Amérique du Nord. — Région de Connelsville en Pennsylvanie.

Chine. — Région du Chansi et surtout du Honan.

5° HOUILLES MAIGRES

France. — Mines d'Anzin, Béthune, Carvin, Courrières, l'Escarpelle, Lens, Meurchin, Ostricourt, Thivencelles, Vicoigne-et-Nœux, Ahun, Brassac, Haute-Loire, Saint-Chamond, Graissessac, Cessous-et-Comberedonde, Rochebelle.

Belgique. — Mines de Roton, Pont-du-Loup, Hazard, Bois-de-Micheroux, Fainuée, Beaulet, Bois-d'Heigne.

Angleterre. — Mines du district d'Auckland dans le bassin de Northumberland;

Charbons de la veine Barnsley Coal, et de Parkgate Seam, dans le bassin de Yorkshire;

Charbons de la série inférieure du bassin de Bristol;

Charbons de la Black Vein exploitées à Celynear Colliery et charbon de Merthyr dans le bassin de South Wales.

Allemagne. — Étage inférieur du bassin de la Ruhr;
Couche Grossathwerk à Jamesgrube, dans le bassin d'Aix-la-Chapelle.

Amérique du Nord. — Partie sud du bassin de Pennsylvanie.

Chine. — Charbonnage de Kai-Ping.

6° ANTHRACITES

France. — Mines d'Ostricourt, Thivencelles, Ahun, Blanzy, Messeix, Sarthe, la Mure.

Angleterre. — Mines des districts de Neath-Abbey, Swansea, Ysalyfera, Cwm Neath, Glamorganshire (Brass Vein) Pembrokeshire (Bonville court, Timber vein, Watneys) et Carmarthenshire (Gwendreeth, Pontyeats, Big vein) dans le bassin de South Wales.

Allemagne. — Mines en Saxe et en Silésie;
Mine Rolduc en Prusse;
Couche Hartkohl à Centrumgrube, dans le bassin d'Aix-la-Chapelle.
Autriche. — Mines en Bohême.

Russie. — Région de Grouchefka, Zvérévo, Doljik, dans le bassin du Donetz.

Amérique du Nord. — Mines de Mauch Chunk, Pottsville, Hazleton, Drifton, Wilkes Barre, Scranton, dans la partie nord-est du bassin de Pennsylvanie;
Mines dans l'État de Massachusetts.

Japon. — Mines de Matzukawa, Okutani, Otokawa.

Chine. — Région des Man Chan, à l'ouest de Pékin.

Inde. — Mines du district de Darjiling.

Dans l'énumération précédente, il a été assez difficile de donner des indications précises pour l'Amérique du Nord, car les Américains classent leurs charbons, ainsi que nous l'avons dit, en deux groupes seulement : les anthracites et les charbons bitumineux, ceux-ci comprenant toutes les houilles depuis 10 0/0 jusqu'à 40 0/0 de matières volatiles. La répartition des gîtes à travers les différents États, conformément à cette classification à deux termes, est la suivante :

1° *Anthracites.* — Rhode Island, Massachusetts, Pennsylvanie, Colorado et New Mexico;

2° *Charbons bitumineux.* — Virginie, Caroline du Nord, Pennsylvanie, Ohio, Maryland, Kentucky, Tennessee, Géorgie, Alabama, Michigan, Indiana, Illinois, Iowa, Missouri, Nebraska, Idaho, Kansas, Arkansas, Territoire Indien, Texas, Dakota, Montana, Wyoming, Utah, Colorado, New Mexico, Nevada, Washington, Oregon, Californie.

Bassin du Pas-de-Calais. — Si l'on parcourt le bassin du Pas-de-Calais, non seulement les charbons changent de nature, de l'est à l'ouest, mais encore, dans les concessions qui se succèdent, la qualité des combustibles n'est pas la même aux divers puits d'exploitation.

Aux mines de Ligny-lez-Aire et aux mines de Ferfay, les charbons sont de la qualité dite maréchale, et contiennent 25 à 30 0/0 de cendres.

Aux mines de Marles, les charbons renferment 32 à 38 0/0 de cendres. On peut acheter indistinctement, comme charbons à gaz, les produits de toutes les fosses. Il en est de même aux mines de Bruay.

Au contraire, aux mines de Nœux, on trouve une gamme à peu près complète de toutes les catégories de charbon. Les charbons à gaz à 35 et 40 0/0 de matières volatiles s'extraient surtout à la fosse n° 7, partiellement à la fosse n° 4. Les houilles maréchales se trouvent à la fosse n° 2 et en partie à la fosse n° 5. On fait du coke avec les fines mélangées des fosses n°s 1, 2, 3, 4 et 5, les charbons de la fosse n° 1 étant surtout typiques pour la fabrication du coke. A la fosse n° 3 se trouvent les produits de 12 à 14 0/0 de matières volatiles genre Cardiff et, à la fosse n° 6, les houilles de 10 à 12 0/0 de matières volatiles.

La répartition est à peu près la même aux mines de Béthune. Les fosses n° 1, n° 2 et n° 10 au sud exploitent des charbons de 32 à 40 0/0. Les charbons de 30 à 32 0/0 se trouvent aux fosses 5 et 6. La fosse 7 exploite les charbons gras de 25 à 30 0/0. Les charbons à coke sortent de la fosse n° 3. La fosse n° 4 tire des houilles de 14 à 16 0/0 de matières volatiles. Enfin les charbons maigres de 11 à 12 0/0 sont aux alentours de la fosse n° 9.

Aux mines de Lens, on extrait :

1° Des houilles grasses flambantes, type Newcastle ou Mons aux fosses 3, 9 et 11 (29 à 32 0/0 de matières volatiles) ;

2° Des houilles grasses à gaz aux fosses 3, 4, 5 et 11 ;

3° Des houilles trois quarts grasses maréchales et propres à la fabrication du coke aux fosses 1, 2, 8 et 12 (22 à 25 0/0 de matières volatiles) ;

4° Des houilles demi-grasses et quart-grasses, type Cardiff et Charleroi (12 à 14 0/0 de matières volatiles) aux fosses 6 et 7.

De sorte que la répartition par fosse est conforme au tableau suivant :

SIÈGES	NATURE DU CHARBON	QUANTITÉ DE MATIÈRES VOLATILES
N° 2.............	Trois quarts gras, à coke.	28 pour 100.
N°s 2 et 3 *bis*......	Gras, à gaz.	30 à 32 pour 100.
N° 4.............	id.	30 à 32 —
N° 5.............	id.	30 à 32 —
N° 6.............	Demi et quart gras.	12 pour 100.
N°s 7 et 7 *bis*.......	id.	12 —
N°s 8 et 8 *bis*.......	Trois quarts gras, et forge.	22 —
N° 9.............	Gras, flambant.	35 —
N° 10.............	Demi-gras.	15 —
N° 11.............	Gras et à gaz.	32 —
N° 12.............	Trois quarts gras, à coke.	26 —

Aux mines de Liévin, on n'exploite que du flénu ou du charbon à gaz ayant en moyenne 33 à 36 0/0 de matières volatiles.

Aux mines de Meurchin, les trois fosses exploitent une même qualité à 12 ou 14 0/0 de matières volatiles.

Les mines de Drocourt sont dans une région de gras à 24 ou 29 0/0 de matières volatiles.

Aux mines de Courrières, on distingue trois qualités :

1° Les charbons gras à longue flamme, 28 à 32 0/0 de matières volatiles, qui sont exploités dans les fosses du sud, c'est-à-dire aux n°s 2, 3, 4, 5, 10 et 11 ;

2° Les charbons demi-gras, 20 à 28 0/0 de matières volatiles, qui caractérisent les fosses 6, 7 et 9 ;

3° Les charbons quart-gras, 12 à 16 0/0 de matières volatiles, exploités à la fosse n° 8.

Les mines de Dourges ont les mêmes qualités : du 30 0/0 de matières volatiles, aux fosses 3, 6 et 7 ; du 22 0/0 à la fosse 4 et du 15 à 18 0/0 à la fosse 1.

Les mines d'Ostricourt n'exploitent que du charbon maigre. Le charbon tient 12 0/0 de matières volatiles aux fosses 1 et 2 ; il devient anthraciteux à 10 0/0 de matières volatiles aux fosses 3 et 4.

Telle est la répartition commerciale par fosse dans le Pas-de-Calais. Mais on ne peut pas toujours être certain d'avoir exactement le charbon spécial d'une fosse déterminée, car bien souvent les Compagnies substituent à une catégorie demandée une catégorie similaire ou bien font des mélanges.

Bassin du Nord. — Les mines de Carvin exploitent à leurs fosses 1

et 2 des charbons à 13 et 14 0/0 de matières volatiles, tandis qu'à la fosse 3 les charbons n'ont plus que 10 0/0.

Aux mines de l'Escarpelle, la fosse n° 1 produit des houilles demi-grasses de 13 à 15 0/0 de matières volatiles pour générateurs. La fosse n° 6 donne des houilles quart grasses. Les fosses 3, 4, 5 et 7 extraient des houilles trois quarts grasses qui conviennent à la fabrication du coke.

L'exploitation des mines d'Aniche fournit :

1° Dans la division d'Aniche, des charbons demi-gras tenant 12 à 14 0/0 de matières volatiles. Ces charbons sont transformés en agglomérés, ou bien sont vendus pour chaudières ;

2° Dans la division de Douai, des charbons gras tenant de 18 à 28 0/0 de matières volatiles. On transforme ces charbons en coke. On exploite aussi des charbons gras de 11 à 12 0/0 de matières volatiles (fosse Bernicourt).

Aux mines d'Anzin, les grandes divisions des catégories de charbon exploité sont celles du tableau suivant, qui donne en même temps la composition élémentaire des diverses houilles connues dans la concession.

DÉSIGNATION DES DIVERSES VARIÉTÉS DE HOUILLES	CARBONE			H	Az + O	POUVOIR CALORIFIQUE théorique
	FIXE	VOLATIL	TOTAL			
Charbons maigres anthraciteux (faisceau de Vieux-Condé), notamment fosse Sarteau.	90,00	1,90	91,90	3,80	4,30	8,200
Charbons maigres flambants (faisceau de Fresnes Midi), notamment fosse Bonnepart.	86,63	4,02	90,65	3,76	5,59	8,535
Charbons demi-gras (faisceau de Saint-Louis, Thiers et Abscon), notamment fosses Chauffour, La Cave et Saint-Louis.	86,20	6,00	92,20	4,00	3,80	8,799
Charbon gras pour coke et forges (faisceau de Saint-Waast), notamment fosses La Réussite, Grande-Fosse et Tinchon.	77,20	7,30	84,50	4,20	11,30	8,276
Charbon gras à longue flamme (faisceau de Renard Sud).	75,74	6,01	81,75	5,41	12,84	8,357
Charbon gras pour gaz (faisceaux de Renard Nord et de la Cuvette).	69,39	15,36	84,95	6,35	8,70	9,184

Aux mines de Thivencelles, la concession dite d'Escautpont exploite les charbons anthraciteux à 8 0/0 de matières volatiles, tandis que les concessions de Thivencelles et de Saint-Aybert produisent des charbons quart gras, propres au chauffage des chaudières.

Le charbon des mines de Douchy est beaucoup plus gras et contient 22 à 26 0/0 de matières volatiles. Il est transformé, pour la plus grande partie, en coke.

Aux mines de Crespin, la proportion de matières volatiles est encore plus élevée et atteint 32 à 36 0/0. Ce sont des charbons à gaz.

Bassins du Centre. — Dans la Sarthe, on exploite de l'anthracite. Dans la Creuse, aux mines d'Ahun, le charbon a tendance également à être plutôt maigre, bien qu'on connaisse quelques variétés demi-grasses. De même, aux mines de Messeix (Puy-de-Dôme), on a du charbon anthraciteux à 11 0/0 de matières volatiles.

Aux mines de la Chapelle-sous-Dun (Saône-et-Loire), on a des houilles très flambantes ou des houilles sèches à longue flamme.

Les houillères du Creusot (Saône-et-Loire) donnent de l'anthracite ou du charbon demi-gras, tandis que les houillères de Decize, ou celles de Monchanin et de Longpendu (Saône-et-Loire), fournissent des charbons à longue flamme.

Les mines d'Épinac (Saône-et-Loire) ont plusieurs variétés de charbon : de la houille sèche à longue flamme au puits Bonnard, de la houille maréchale au puits de la Garenne et de la houille maigre anthraciteuse au puits Hottinguer.

Aux mines de Blanzy (Saône-et-Loire), la répartition est la suivante :

La division Sainte-Eugénie exploite les charbons les plus flambants dans les couches n°s 1 et 2 supérieures et des charbons demi-gras dans les couches supérieures n°s 3 et 4. La teneur en matières volatiles diminue avec l'approfondissement des couches.

La division Sainte-Marie exploite les mêmes couches que la précédente, charbons flambants à 30 et 35 0/0 de matières volatiles.

La division de Magny exploite des charbons flambants à teneur plus faible et des charbons maigres à 20 0/0 environ.

La division de Montmaillot tire des anthracites contenant une assez forte proportion de matières volatiles, 12 à 15 0/0, ce qui est peu fréquent dans cette nature de combustible et ne s'explique que par la teneur exceptionnelle en oxygène.

Saint-Berain, situé à 35 kilomètres au N.-E. de Montceau exploite un charbon flambant très cendreux (Puits du Parc).

Voici d'ailleurs quelques analyses des charbons de Blanzy.

DÉSIGNATION DES ÉCHANTILLONS	CARBONE	MATIÈRES VOLATILES	CENDRES
Sainte-Eugénie, 1re couche	55,23	39,66	5,1
— 2e —	55,25	35,54	9,20
— 3e —	61,95	32,23	5,74
— 4e —	62,45	31,00	6,55
Saint-Louis, 4e couche	77,98	20,57	5,55
Sainte-Marie, 4e couche à 354	79,38	18,72	1,90
Magny, 9e couche à 427	60,55	24,00	15,45
Saint-Amédée	77,50	12,50	10,00

Les houillères de Saint-Chamond (Loire), exploitent des houilles maigres anthraciteuses.

Les houillères de Saint-Étienne (Loire), produisent des charbons gras et mi-gras qui sont partiellement convertis en coke ou en briquettes et qui conviennent également pour la forge ou pour le chauffage des générateurs. Les qualités sont les mêmes aux mines de Villebœuf et aux mines de la Loire. A cette dernière Compagnie existent des houilles maréchales appelées charbons *Grangette* dans l'industrie.

Les mines de Montrambert et de La Béraudière (Loire) exploitent des charbons gras à longue flamme, tenant 36 à 40 0/0 de matières volatiles, tandis que celles de la Péronnière donnent de l'anthracite. Enfin, dans la même région, les mines de Roche-la-Molière et de Firminy ont toutes les catégories, depuis la houille mi-grasse à courte flamme jusqu'à la houille grasse à longue flamme.

Dans la Haute-Loire, la Société des mines de la Haute-Loire exploite, à la division de Grosménil, des charbons à 16 ou 18 0/0 de matières volatiles et, à la division de la Taupe, des charbons de 21 à 23 0/0 de matières volatiles. Les mines de Marsange, dans la même région, ont surtout des qualités pour coke.

La Compagnie de Commentry-Fourchambault produit, dans ses exploitations de Commentry (Allier), des charbons gras propres à la forge et à la fabrication du gaz ; à ses mines de Brassac (Haute-Loire), se trouvent des charbons maigres.

La Compagnie de Châtillon-Commentry possède à Saint-Éloy (Puy-de-Dôme) et aux Ferrières (Allier), des exploitations dont elle extrait du charbon à 36 ou 40 0/0 de matières volatiles, tandis qu'à Doyet et à Bézenet (Allier), on trouve du charbon analogue à celui de Commentry, c'est-à-dire à 28 ou 32 0/0 de matières volatiles.

Les mines de la Bouble et celles de Saint-Gervais (Puy-de-Dôme), qui recherchent le prolongement du bassin de Saint-Éloy, auront à exploiter des charbons à gaz, à 30 ou 36 0/0 de matières volatiles.

Dans le bassin de l'Aveyron, la teneur en matières volatiles des combustibles est presque toujours élevée. Aux mines de Campagnac, les houilles ont 35 0/0 de matières volatiles. Les mines de la Société Métallurgique de l'Ariège exploitent des houilles contenant 36 et 38 0/0 de matières volatiles. A Champagnac (Cantal), on trouve des houilles maréchales, c'est-à-dire des charbons contenant moins de matières volatiles, 24 à 25 0/0. A Carmaux et à Albi (Tarn), les charbons ont 30 0/0. On les transforme en coke par un procédé spécial que nous indiquons au chapitre Fours a coke, et on peut surtout en faire des agglomérés. A Aubin (Aveyron), les charbons contiennent 33 à 38 0/0 de matières volatiles. Il existe, pourtant, aux Issarts et au puits 3 et 4, des charbons de forge. A Decazeville (Aveyron), on exploite aussi des houilles grasses à longue flamme.

Bassins du Midi. — Dans le bassin du Gard, qui comme exploitation est le plus important du Midi, on ne trouve que deux qualités de charbon :

1° Celle du faisceau dit supérieur, ayant 20 à 22,5 0/0 de matières volatiles ;

2° Celle du faisceau dit inférieur, contenant 12 0/0 de matières volatiles.

La Compagnie des mines du Nord d'Alais et les houillères de Rochebelle exploitent des charbons maigres ou demi-gras.

Aux mines de Bessèges (Gard), on trouve, dans la division de Bessèges, de la houille avec laquelle on fait du coke et, dans la division de Molières, outre la même houille grasse, une certaine quantité de houille maigre.

Les mines de la Grand'Combe exploitent les deux faisceaux énumérés ci-dessus, et la répartition des diverses catégories de charbons est la suivante dans les différentes divisions d'exploitation :

Division de Champclauson, houille anthraciteuse à 10 et 11 0/0 de matières volatiles;

Division du Mazel et de la Pise, houilles quart grasses à 14 et 15 0/0 de matières volatiles;

Division de Trescol, houille mi-grasse de 16 à 18 0/0 de matières volatiles;

Division de Saint-Jean-de-Valériscle, houille grasse ayant 19 à 23 0/0 de matières volatiles.

Aux mines de Lalle, les charbons sont un peu plus gras et atteignent 28 0/0 de matières volatiles.

Aux mines de Portes-et-Sénéchas (Gard), on trouve du charbon à 17 et 18 0/0 de matières volatiles et d'autres qualités à 13 et 14 0/0 de matières volatiles.

La répartition des charbons est la suivante à travers les concessions de Trélys et Palmesalade (Gard) :

Mines de Rieusset : charbons à gaz;

Mines d'Arcas : houilles maréchales et houilles maigres à longue flamme;

Mines de Croujoul : houilles maigres à longue flamme;

Mines de Broussous : houilles maigres anthraciteuses;

Puits de l'Arbousset : houilles maréchales et houilles pour coke;

Puits Pisani : houilles maigres à longue flamme.

Aux mines de Cessous-et-Comberedonde (Gard), il n'y a que des charbons maigres à 8,70 0/0 de teneur moyenne en matières volatiles. Au contraire, les mines de Salles-et-Montalet (Gard) exploitent le faisceau supérieur du Gard à 20 ou 22,5 0/0 et le faisceau inférieur à 12 0/0.

Aux mines de Prades (Ardèche), les charbons sont anthraciteux. A celles de Sumène (Gard), le charbon est gras.

Enfin, les mines de Graissessac (Hérault), exploitent des charbons anthraciteux, ainsi que quelques houilles pouvant donner du coke ou convenant à la forge.

Appellations spéciales des charbons à Paris. — Nous terminerons cette revue rapide des catégories industrielles de la houille en donnant la définition des termes qui sont employés par les marchands de charbons à Paris pour désigner diverses qualités de combustibles.

Le nom de *Cardiff* s'applique aux charbons de 15 à 16 0/0 de matières volatiles, intermédiaires entre les quart gras et les demi-

gras, charbons s'employant avec avantage dans les foyers ouverts des chaudières.

Sous le nom générique de *Charleroi*, on désigne la qualité demi-grasse à 18 ou 20 0/0 de matières volatiles.

Les variétés *Newcastle*, *Saint-Étienne*, *Mons* et *Sarrebrück*, servent à désigner les charbons à gaz. Les Newcastle et les Sarrebrück sont les combustibles qui contiennent le plus de matières volatiles. Le Saint-Étienne est plutôt un charbon de forge.

Enfin les *Flénus* sont les représentants des houilles sèches à longue flamme. Ce nom concorde, d'ailleurs, avec celui de la classification de Gruner.

Achat de la houille. — Les conditions d'achat de la houille sont assez variables et spéciales, le plus souvent, à celui qui veut acheter. Nous donnerons quelques exemples, exemples qui ne sont pas la généralité, mais qui peuvent fournir des indications aux acheteurs.

France. — D'après les prescriptions des cahiers des charges des chemins de fer français, tous les charbons doivent être choisis comme qualité parmi les plus propres à l'emploi sur une grille et être débarrassés autant que possible des schistes et de toutes autres matières étrangères.

Ils peuvent contenir une proportion de cendres comprise entre 7 et 12 0/0 suivant la provenance du combustible et les conditions du marché.

Pour constater si les conditions relatives à la teneur en cendres sont satisfaites, des incinérations sont faites contradictoirement entre les agents des Compagnies et ceux des mines.

La proportion de cendres constatée à l'incinération donne lieu, suivant le cas, à une bonification ou à une réduction de prix ; il est accordé par exemple au fournisseur une bonification de 10 centimes par tonne pour chaque 1/2 0/0 de cendres au-dessous de la limite inférieure.

Il est appliqué, par contre, une réduction de 10 centimes par tonne pour chaque 1/2 0/0 de cendres au-dessus de la limite supérieure, et cela jusqu'à un maximum donné, à partir duquel les Compagnies se réservent le droit de refuser toute la livraison.

Les livraisons de grenus, de noisettes, de menus et de fines sont frappées d'une réduction fixée une fois pour toutes par des expériences contradictoires, pour tenir compte de l'eau contenue dans

ces combustibles, ce qui est surtout important, si les charbons ont été lavés.

Les agents des chemins de fer chargés de la réception des houilles font des essais pratiques sur la ligne. Ils ont à consigner notamment dans leur rapport les indications suivantes : 1° aspect général du combustible; 2° facilité avec laquelle le combustible prend l'eau; 3° pourcentage approximatif des cendres recueillies et des matières étrangères qui consistent généralement en schistes; 4° production plus ou moins grande de fumée; 5° agglomération dans le foyer et nature du coke; 6° aspect de la flamme; 7° résistance du combustible au tirage et consommation par 100 tonnes kilométriques, en indiquant si cette dépense est supérieure ou inférieure à la moyenne; 8° proportion des résidus recueillis dans la boîte à fumée.

L'Assistance Publique, dans ses réceptions de charbon, considère comme morceaux dans du tout-venant le refus d'une grille à barreaux écartés de 35 millimètres. Toutefois, il peut y avoir bris du charbon, soit en cours de route, soit au chargement, soit au déchargement. Une tolérance de 8 à 10 0/0 en menus est généralement admise.

Pour les cendres, dans les tout-venant à 50 0/0 de morceaux, l'Assistance Publique admet une proportion de 7 à 10 0/0; elle retient 50 centimes par tonne par unité de cendres au-dessus de 10 0/0 et refuse au delà de 13 0/0. Pour les gailletteries demi-grasses, elle spécifie un maximum de 5 0/0 de cendres avec retenue de 50 centimes par unité au-dessus de 5 0/0 et refus au delà de 7 0/0. Si les cendres proviennent de pierres très nettement visibles, le nettoyage est fait aux frais du vendeur et le pourcentage de pierres trouvées doit être remplacé par une égale quantité de charbon.

Pour les matières volatiles, l'Assistance Publique en déterminera la teneur d'après le charbon non seulement desséché, mais encore débarrassé des cendres. C'est une habitude qui n'existe guère dans le commerce de charbons. En général, les essais de réception se font sur le charbon sec, cendres non déduites.

Russie. — Au chemin de fer d'Orembourg, en Russie, le charbon, pour être reçu, ne doit pas contenir de schiste, ni de pyrite, ni plus de 3 0/0 de soufre (de petites traces de pyrite ne sont pas un obstacle à la réception des fournitures).

Les déchets de la combustion (cendres, scories) ne doivent pas représenter plus de 20 0/0 du poids total.

Le charbon ne comprendra pas plus de 10 0/0 en menu; il donnera une flamme longue et vive, et il n'obstruera pas la grille. Son poids sera de 775 kilogrammes au mètre cube.

La réception du charbon est faite par une commission spéciale.

Le triage du charbon est vérifié, sur une partie de la fourniture, au moyen d'un crible posé sous un angle de 45° et fait de fils de fer de 3 millimètres de diamètre, fortement fixés dans le cadre et formant des carrés entre les centres desquels doit exister un espace de 25 millimètres. Si cette vérification partielle fait constater plus de 10 0/0 de menu, on procède à un criblage complet de la fourniture, et le surplus de menu reste à la disposition du fournisseur.

L'examen technique préalable se fait en brûlant le charbon dans un moufle, afin de déterminer sa teneur en coke, en cendres et en matières volatiles.

L'examen technique définitif consiste à brûler le charbon dans les locomotives des trains de marchandises et dans les machines fixes. L'expérience a lieu sur un parcours de 373 kilomètres, et la consommation moyenne ne doit pas dépasser 36.810 kilogrammes par 1.000 tonnes-kilomètres.

Pour les machines fixes, on s'attache surtout à la vaporisation d'eau. La vaporisation doit être au moins de 6 kilogrammes pour une expérience d'au moins trente heures.

Italie. — Aux chemins de fer italiens du réseau de la Méditerranée, la houille en roche doit provenir de l'une des mines suivantes des bassins de Cardiff et de Newport :

Powell-Duffryn, Thomas Merthyr, Bute's Merthyr, Cory's Merthyr, Insole's Merthyr, National Merthyr, Abercarn's Merthyr, Tredegar, Risca Black Vein, Newport Abercarn's Steam Coal.

Sont exclus les charbons de Newcastle et les briquettes confectionnées avec des menus de cette provenance, sauf entente spéciale.

Les houilles seront deux fois criblées (*Double Screened*) avant leur mise à bord. Le poussier ne doit pas dépasser 10 0/0 de la charge du navire reconnue pendant le déchargement dans les ports d'arrivée; on considère comme poussier le menu capable de passer par un crible incliné de 25° et dont les barreaux seront espacés de 12 millimètres. On admet aussi 20 0/0 de poussier à l'arrivée, le crible étant composé de barreaux espacés de 5 millimètres.

Les houilles menues doivent être épurées et triées avec le plus

grand soin, de façon à ne contenir aucune espèce de schistes (*slates*) ou autres matières hétérogènes.

Les combustibles fournis par chaque expédition seront soumis à des épreuves industrielles.

Dans un essai exécuté sur une locomotive en service ordinaire, la quantité d'eau vaporisée par chaque kilogramme de combustible ne devra pas être inférieure à 9 litres. Les combustibles qui présenteront un pouvoir calorifique suffisant pour vaporiser au moins 8^{lit},50 d'eau par kilogramme pourront toutefois être acceptés avec réduction de prix.

Le pouvoir calorifique du combustible est déterminé dans le laboratoire des Compagnies de chemins de fer par un calorimètre tel que celui de Thompson, par exemple.

Si, après l'essai au laboratoire, il est constaté que le combustible fourni possède une puissance calorifique inférieure à celle garantie par le fournisseur, il y aura lieu à une réduction de prix de 5 centimes par tonne pour chaque quantité de 10 calories reconnue en moins ou de 2 fr. 50 pour chaque litre d'eau vaporisée en moins dans les épreuves avec la locomotive en service.

La proportion de cendres ne devra point dépasser 5 0/0. Chaque unité pour cent reconnue en plus donnera lieu à une réduction de 40 centimes par tonne, pour la houille en morceaux, et de 30 centimes, pour la houille menue, les fractions d'unité étant comptées proportionnellement à ces bases.

Toutefois les retenues ne peuvent être cumulées; si les opérations d'incinération et de calorimétrie donnent lieu à une réduction de prix différente, il n'est tenu compte que de la plus forte réduction.

Dans le cas où on aurait constaté plus de 1,25 0/0 de soufre ou plus de 18 0/0 de matières volatiles, on aura le droit de refuser le combustible et d'exiger un changement de mine.

Belgique. — Aux chemins de fer de l'État belge, on n'essaie pas les charbons gras au point de vue du pouvoir évaporatoire. On détermine au laboratoire leur pouvoir agglutinant. D'après cet essai on classe les demi-gras en deux types, ceux qui ne peuvent supporter que 50 0/0 de sable et ceux qui en supportent 60 0/0. Les uns et les autres doivent tenir au moins 18 0/0 de matières volatiles et au plus 15 0/0 de cendres.

Tous les charbons sont essayés au laboratoire où l'on détermine leurs teneurs en eau, en cendres, en carbone solide et en matières volatiles.

Les houilles maigres et demi-grasses sont également essayées dans deux chaudières de locomotives spécialement disposées pour permettre de déterminer leur pouvoir de vaporisation, la quantité de charbon consommée par heure et par mètre carré de grille, le poids des résidus qu'elles laissent (cendres de la boîte à fumée, du cendrier, mâchefers, etc.).

Dans ces chaudières, la vapeur produite s'échappe en grande partie à l'air libre; le reste sert à produire un tirage artificiel dans la cheminée. On mesure l'intensité du tirage, que l'on règle à volonté, au moyen d'un manomètre à eau qui communique directement avec la boîte à fumée.

La différence du niveau de l'eau dans le réservoir, constatée avant et après l'essai, le poids du combustible employé, la surface de grille et la durée de l'essai permettent de calculer tous les éléments recherchés. On pèse ensuite les cendres de la boîte à fumée et du cendrier et le mâchefer pour en déduire le pouvoir de vaporisation du charbon.

Angleterre. — Pour la navigation en Angleterre, spécialement pour les navires de guerre, les qualités requises d'un combustible sont les suivantes :

1° Le combustible doit brûler de manière à développer la vapeur en peu de temps; son action devra être très rapide;

2° Il doit avoir une grande puissance d'évaporation, c'est-à-dire convertir une grande quantité d'eau en vapeur avec une faible consommation de charbon;

3° Il ne doit pas être bitumineux, de peur que, par un grand dégagement de fumée, la position des navires de guerre ne soit révélée, alors qu'il serait désirable de la tenir cachée;

4° Il doit posséder une grande cohésion pour ne pas être réduit en petits fragments par les frottements continuels subis dans les navires;

5° Il doit joindre à une forte densité une structure telle qu'on puisse l'emmagasiner dans un petit espace. Cette condition, avec des charbons de même qualité d'évaporation, peut produire une différence de plus de 20 0/0;

6° Il ne doit pas contenir de grandes quantités de soufre, ni se détériorer progressivement, ces deux circonstances facilitant la combustion spontanée.

On peut varier à l'infini les cahiers des charges pour les achats de

houille. Dans tout ce qui précède, nous n'avons eu pour but que de donner quelques indications.

En général, la valeur commerciale d'une houille diminue de 2 à 5 0/0 par chaque unité de cendres, de sorte que si a est le prix du charbon pur et a' celui de la houille considérée, on appliquera soit la formule

$$a' = a\left(1 - \frac{2n}{100}\right),$$

soit la formule

$$a' = a\left(1 - \frac{5n}{100}\right)$$

où n est la teneur en cendres constatée à l'analyse. Si cette teneur est très élevée, on applique la seconde formule, et, aux environs de 30 0/0 d'impuretés, on rejette le combustible.

Emmagasinage de la houille. — Les usines accumulent en général de grands stocks de houille. Ces stocks seront sujets à une combustion spontanée, ainsi que nous l'avons dit au chapitre I, page 11. Il est bon, par conséquent, de prendre les mesures suivantes pour éviter cette combustion spontanée.

Il faut d'abord assurer le refroidissement des stocks, car on ne peut guère songer à les préserver absolument du contact de l'air. Le moyen le plus sûr et le meilleur est de réduire la dimension des tas. On peut adopter comme règle qu'aucun point de l'intérieur ne doit se trouver à plus de 2 mètres d'une surface libre. Cette limite sera du reste variable avec la nature du charbon : elle s'abaissera à $1^m,50$ s'il est très inflammable ; elle pourra s'élever à 3 mètres dans le cas contraire.

Si l'on veut entasser sur une plus grande hauteur, il faudra refroidir l'intérieur en y ménageant des conduits où circulera l'air ; mais il serait imprudent de provoquer l'arrivée de l'air au contact du charbon ; les courants de refroidissement doivent circuler dans des conduits étanches. Par exemple, on construira sur l'axe de l'emplacement futur du tas une galerie voûtée ouverte aux deux bouts. En laissant tomber d'une estacade le charbon sur la voûte, il s'établira un double talus, et on pourra sans inconvénient former un tas sur 4 mètres de hauteur et 2 mètres de largeur de chaque côté des piédroits de la galerie.

Malgré ces précautions, les combustibles perdront toujours de leur

valeur s'ils restent longtemps en stock, surtout sous l'influence de l'humidité, qui décompose peu à peu les parties intérieures des tas, où elle séjourne sans pouvoir être séchée comme à la surface par la circulation de l'air.

Dans les grandes usines, on reçoit en général plusieurs sortes de combustibles, et on les emmagasine dans des cases entourées de murs sur trois côtés pour isoler chaque qualité. Il est bon que le sol de ces cases soit dallé en pierre ou mieux en fonte : de cette façon, les charbons ne se salissent pas, et, si certains lots sont impurs, le vendeur ne peut en décliner la responsabilité.

En Amérique, on conserve le plus souvent le combustible sous la forme de tas coniques. Il faut que le combustible arrive au centre de la base du cône par une coulotte dont l'orifice soit susceptible d'être relevé à mesure que le tas grandit pour éviter le bris.

Le combustible est aussi emmagasiné dans des silos cylindriques ou parallélipipédiques en fer ou en bois. L'orifice inférieur de ces silos débouche sur le parquet de la salle de chauffe, ou dans une auge avec transporteur à hélice qui distribue la houille dans les trémies des chargeurs mécaniques que nous décrirons plus loin.

Une bonne mesure est de placer la houille à l'abri de la pluie, c'est-à-dire d'avoir des parcs à charbon couverts. La dépense d'installation est plus élevée, mais la conservation des qualités du combustible est meilleure. L'humidité est l'ennemi. Pendant l'hiver, l'eau interposée dans les charbons a tendance à geler et, au moment du dégel, les morceaux tombent en poussier. En été, l'eau absorbée par les rayons solaires active l'oxydation, et il y a perte sur la proportion de matières volatiles. D'un côté comme de l'autre, le déchet est assez considérable.

CHAPITRE VI

EMPLOI DE LA HOUILLE DANS LES FOYERS

Foyers ordinaires. — Grille. — Combustible brûlé par mètre carré de grille. — Surface de grille. — Hauteur du foyer. — Autel. — Cendrier. — *Conduite du feu.* — Décrassage. — Épaisseur du combustible. — Modes de chargement spéciaux aux chaudières de locomotives. — *Chargement mécanique.* — Chargeur Wilkinson. — Chargeur Coxe. — Chargeur Babcock et Wilcox. — Autres chargeurs à chaînes. — Chargeurs de l'American Stoker C°. — Chargeur Kincaid. — Chargeur Stauss. — Chargeurs mécaniques divers. — Appareil James Proctor. — Appareil Moutte. — Décrassage mécanique. — *Choix du combustible.* — Matières volatiles. — Cendres. — Composition des mélanges de houille.

Foyers ordinaires. — On utilise la houille dans des foyers dont la forme et les proportions doivent être déterminées, de manière à rendre la combustion aussi complète que possible. L'air doit affluer librement et également dans la masse de combustible. A cet effet, on se sert de grilles sur lesquelles le combustible est étalé en couche régulière. L'air pénètre à peu près uniformément dans tous les points de la masse, à travers les vides ménagés sous la grille. Dans l'établissement d'un foyer il faut surtout réagir contre les inconvénients suivants, qui peuvent diminuer sensiblement la combustion :

1° Insuffisance d'arrivée d'air dans la masse (section de passage trop petite à l'entrée du cendrier, couche de combustible trop épaisse, grille obstruée par les scories) ;

2° Arrivée d'une trop grande quantité d'air dans le foyer, suivant que la couche de combustible est trop faible, ou que la grille présente des parties découvertes ;

3° Contact insuffisant entre les molécules d'air affluent et les éléments combustibles ;

4° Chambre de combustion trop petite.

Nous allons indiquer sommairement les éléments principaux de

construction des foyers et les procédés de conduite du feu, grâce auxquels on peut obvier à ces inconvénients.

Grille. — La grille se compose d'un certain nombre de barreaux parallèles en fonte ou en fer forgé laissant entre eux des intervalles pour l'accès de l'air. Pour maintenir l'intervalle nécessaire au passage de cet air, les barreaux sont munis à chaque extrémité d'un talon dont les saillies déterminent la largeur de cet intervalle. Les barreaux d'une certaine longueur portent, en outre, un talon au milieu de leur longueur.

Les barreaux ont une section longitudinale de forme à peu près parabolique, avec une hauteur croissante des extrémités au milieu, pour augmenter leur résistance. Leur section transversale a, en général, une forme triangulaire très allongée, de telle sorte que le vide croît de haut en bas, pour faciliter l'accès de l'air, et surtout pour empêcher l'engorgement ou l'obstruction de la grille par des morceaux de combustible ou par des résidus.

La hauteur des barreaux est très grande relativement à l'épaisseur (10 fois et même plus). La hauteur du barreau au milieu de sa longueur est ordinairement de 8 à 12 centimètres; mais on en fait de 20 centimètres et même au-dessus.

Pour les combustibles en gros morceaux, comme la gaillette, les intervalles libres entre les barreaux sont de 10 à 12 millimètres; l'épaisseur du barreau est alors de 25 à 30 millimètres. La somme des intervalles libres est environ le quart de la surface totale de la grille pour la houille maigre, le tiers pour la houille grasse et la moitié pour l'anthracite.

Quand on brûle des tout-venants et surtout des menus, une grande partie du combustible pourrait tomber dans le cendrier, si l'on ne réduisait les intervalles et l'épaisseur des barreaux. Les barreaux minces assurent mieux la répartition de l'air dans la masse du combustible; mais ils sont fragiles et déformables; ils se cassent ou se cintrent sous l'action de la chaleur.

Pour donner plus de rigidité aux barreaux on en fond deux ou trois ensemble; ils ont ainsi plus de masse et de résistance au choc, mais leurs dilatations inégales amènent souvent des ruptures.

Les barreaux minces se font le plus souvent en fer laminé. Ils sont plus solides et peuvent se redresser à la forge, quand ils ont été déformés, ou se souder après leur rupture, ce qui compense leur prix élevé. L'écartement se maintient au moyen de rivets qui sont fixés

sur les barreaux de deux en deux, et dont les têtes font saillie sur les côtés à la hauteur convenable.

Les barreaux sont supportés par deux sommiers en fer qui sont engagés dans la maçonnerie aux deux extrémités de la grille. Les longues grilles au-dessus de 1m,20 comportent deux rangées de barreaux et quatre sommiers. Quelquefois les barreaux s'appuient en avant sur la plaque de fonte placée entre la porte et la grille. Il faut toujours laisser pour la dilatation un jeu de 5 à 6 millimètres. Les barreaux ayant la forme d'un biseau peuvent, par la dilatation, glisser librement sur la plaque de fonte d'avant. Pour éviter que les chauffeurs, en piquant le feu ou en décrassant la grille, n'entraînent vers l'avant les barreaux qui, n'étant pas arrêtés, tomberaient dans le cendrier, on munit les barreaux, à l'arrière, d'un talon recourbé qui s'accroche au sommier. C'est une complication, et l'angle vif d'accrochage cause souvent des ruptures.

Les grilles sont en général horizontales et les sommiers de niveau. Cependant on leur donne assez fréquemment une légère inclinaison de $\frac{1}{8}$ à $\frac{1}{10}$ vers l'arrière, afin de laisser plus d'espace pour le développement de la flamme sans diminuer l'ouverture du cendrier ni gêner l'accès de l'air. Quelquefois, mais rarement, on relève les grilles à l'arrière dans le but de rendre le chargement plus commode et de mieux voir l'état du foyer.

La hauteur de la grille au-dessus du sol doit être telle que le chargement et le service soient faciles ; la pratique indique une hauteur de 0m,75 à 0m,80 pour faciliter le coup de pelle.

La grille a généralement une forme rectangulaire, pour que les barreaux aient tous les mêmes dimensions, ce qui facilite le remplacement.

Combustible brûlé par mètre carré de grille. — Un des éléments importants, dans la conduite du foyer, est le poids de combustible brûlé sur la grille, par heure et par mètre carré. Ce poids dépend de la nature du combustible et de la vitesse d'accès de l'air, c'est-à-dire de l'énergie du tirage.

Dans des conditions moyennes, avec un tirage par cheminée de 20 à 30 mètres de hauteur, le registre étant en partie baissé de manière à produire une combustion modérément active, correspondant à une dépression dans le foyer de 3 millimètres à 3mm,5 en hauteur d'eau, on peut brûler sur la grille, par mètre carré, 60 à 70 kilo-

grammes de tout-venant, sur une épaisseur de $0^m,10$ à $0^m,12$ environ.

D'après M. Walther Meunier, on brûlera :

Tout-venant	75 kilogrammes.
Menu de qualité inférieure	100 —

Il ne faut pas tomber au-dessous de 45 kilogrammes par heure et par mètre carré de surface de grille.

En manœuvrant le registre, on fait varier le tirage, ce qui permet d'augmenter ou de diminuer cette consommation dans de grandes limites, soit 50 0/0 en plus ou en moins. Avec une cheminée puissante, un tirage très actif de 8 à 10 millimètres d'eau, on peut consommer jusqu'à 100 et 120 kilogrammes de tout-venant par heure et par mètre carré. L'épaisseur de la couche doit être réglée en proportion.

En baissant le registre, on peut réduire la consommation à 20 ou 30 kilogrammes par mètre carré de grille. Le registre sera baissé au moment de la charge et ouvert peu à peu, à mesure que la combustion avance.

Dans les foyers ordinaires à houille pour chaudières à vapeur, la combustion doit pouvoir varier, par la manœuvre du registre, de 40 à 100 kilogrammes par mètre carré de grille, avec une combustion moyenne de 60 à 70 kilogrammes.

Avec le tirage artificiel par ventilateur ou par jet de vapeur, la combustion, par mètre carré, peut être considérablement augmentée. C'est ainsi que, dans les locomotives, on arrive à brûler 400 kilogrammes et plus de houille, par mètre carré de grille, sur une épaisseur de $0^m,20$ à $0^m,25$ et même $0^m,30$. La dépression dans le foyer atteint alors $0^m,10$ d'eau.

Surface de grille. — La surface d'une grille doit être en rapport avec la quantité de combustible que l'on doit y brûler, mais ses dimensions absolues en largeur et en longueur ne doivent pas sortir de certaines limites.

La largeur ne doit pas être inférieure à $0^m,25$; au-dessous de cette limite, la masse de combustible en ignition est trop faible, et la combustion se maintient difficilement ; d'un autre côté, la largeur ne doit guère dépasser 1 mètre, ce qui conduit à des portes déjà très grandes. On a fait cependant des grilles de $1^m,20$ et $1^m,30$ et jusqu'à $1^m,60$ de largeur. On met alors deux portes de chargement. Pour la longueur de la grille, dans le cas d'une chaudière fixe,

il ne convient pas de ne pas avoir plus de 2 mètres, et déjà, avec cette longueur, le chauffeur peut difficilement surveiller et charger également l'extrémité du foyer. Il résulte de là qu'une grille de 2 mètres carrés de surface est à peu près un maximum qu'il ne convient pas de dépasser. Lorsqu'on a besoin d'une surface plus grande, il vaut mieux employer plusieurs grilles et plusieurs foyers.

On calculera comme suit la surface de grille.

Soient : S, la surface de grille cherchée ; P, le poids de combustible brûlé par mètre carré et par heure ; C, la puissance calorifique de ce combustible. Le poids de combustible brûlé par heure est PS, et, si la combustion était complète, la chaleur dégagée serait PSC. Mais, par suite de la combustion incomplète, du refroidissement des parois, de la perte de gaz de la combustion encore chauds, on n'utilise industriellement qu'une fraction de la chaleur totale, que nous désignerons par r ; c'est ce qu'on appelle le rendement.

La quantité de chaleur Q produite utilement est par conséquent

$$Q = rPSC.$$

La valeur de r, qui est très variable suivant les appareils, est comprise, pour les chaudières à vapeur, entre 0,40 et 0,80.

On déduit de cette formule la surface S de la grille.

On emploie souvent, pour déterminer la surface de grille, des formules empiriques. Nous indiquerons la formule suivante adoptée par le Nord-Ouest autrichien, formule qui donne des résultats se rapprochant beaucoup de ceux obtenus en pratique.

$$P = \left(\frac{350R + 1{,}5F}{W}\right) e.$$

R, surface de grille en mètres carrés ;

F, surface de chauffe en mètres carrés ;

e, coefficient dont la valeur, dépendant de la qualité du combustible employé, est indiquée au tableau ci-après :

NOMBRE DE TOURS DE ROUES A L'HEURE	COMBUSTIBLES DE QUALITÉ			
	INFÉRIEURE	MOYENNE	BONNE	SUPÉRIEURE
4.000	4,7	5,7	6,7	7,2
8.000	5,3	6,3	7,3	7,8
12.000	5,9	6,9	7,9	8,4

W, consommation d'eau en litres, par heure et par cheval, savoir :

225 millimètres	13,9 litres.
342 —	13,3 —
410 —	13,1 —
435 —	12,8 —
470 —	12,5 —

En dehors de toute formule, on peut se guider, pour le calcul de la surface de grille, sur le rapport qui doit exister entre la surface de grille et la surface de chauffe, rapport qui est indiqué par le tableau suivant :

	Rapport de la surface de grille à la surface de chauffe.
Pour houilles très riches, en morceaux	$\frac{1}{40}$ à $\frac{1}{50}$
Pour houilles de Westphalie, du Nord, de Belgique, tout-venant	$\frac{1}{37}$ à $\frac{1}{40}$
Pour houilles de Sarrebrück, de Blanzy, de la Loire, tout-venant	$\frac{1}{30}$ à $\frac{1}{37}$
Pour houilles de même provenance, menues, et de qualités inférieures	$\frac{1}{26}$ à $\frac{1}{30}$

Hauteur du foyer. — La hauteur du foyer, c'est-à-dire la distance entre la grille et la chaudière, qui doit varier avec la nature du combustible, est fonction de l'épaisseur de la couche de charbon et de l'espace réservé au développement de la flamme.

L'épaisseur de la couche de combustible doit être proportionnée à la facilité que l'air aura pour la traverser, afin qu'il ne passe pas une trop grande proportion d'air en excès. Cette épaisseur varie avec la nature des combustibles, avec leur état de sécheresse.

C'est par l'aspect du foyer et par les analyses de gaz, que l'on peut déterminer l'épaisseur la plus convenable, suivant la nature du combustible et l'intensité du tirage.

L'espace réservé au-dessus de la couche de combustible doit être d'autant plus grand que le combustible produit plus de gaz en distillant et, par conséquent, plus de flamme. Si la chaudière est trop rapprochée, les gaz s'éteignent, et la combustion est incomplète; si cette distance est trop grande, on diminue un peu l'effet du rayonnement, et les gaz qui montent verticalement se mélangent mal; la combustion est moins bonne qu'avec un courant renversé.

Pour les tout-venants ordinaires, la distance entre la grille et la chaudière doit être comprise entre 0m,35 et 0m,45. Quand la grille est inclinée, on peut admettre 0m,50 à 0m,55 à l'arrière, et 0m,30 à 0m,35 à l'avant.

Autel. — A l'extrémité de la grille se trouve une partie surélevée en briques réfractaires appelée *autel.*

L'autel est destiné à limiter l'espace occupé par le combustible, il renverse le courant gazeux et en change la forme, ce qui produit le mélange des gaz combustibles et comburants; on obtient ainsi le contact nécessaire à la bonne combustion. On surélève de 30 centimètres au moins l'autel pour réduire la section de passage et déterminer la déformation de la flamme; il se produit ainsi des remous et des tourbillons dans la partie brusquement élargie. C'est un moyen simple et efficace de produire le mélange. On donnera, enfin, à l'autel la forme d'une voûte de manière à faire rétrograder les gaz à l'avant du foyer et à mieux les brûler.

On observera d'ailleurs, pour la construction de l'autel, les prescriptions suivantes :

1° L'autel doit être à arête vive du côté de la grille et muni d'un rampant de l'autre côté;

2° Pour les chaudières à foyer extérieur, on laissera entre la crête de l'autel et la surface métallique recevant le premier parcours de la flamme, un intervalle de 20 à 25 centimètres. Si cette partie est cylindrique, on établira, en conservant l'écartement indiqué, la crête concentrique au développement de la surface métallique. Pour des chaudières à foyer intérieur, on montera l'autel aussi haut que possible, mais pas à moins de 25 centimètres d'écartement du ciel.

Cendrier. — Le cendrier est un espace situé au-dessous de la grille au fond duquel tombent les cendres; en avant, se trouve une large ouverture pour l'introduction de l'air sous la grille. La section d'entrée doit être au moins égale à celle des vides entre les barreaux, c'est-à-dire au quart ou au tiers de la surface totale de la grille.

Le cendrier doit avoir une hauteur assez grande pour que les cendres chaudes qui tombent au fond ne rayonnent pas trop fortement sur le dessous des barreaux. Quand le cendrier est trop peu profond, la grille, ainsi prise entre deux feux, se détruit rapidement. Une hauteur de 0m,35 est un minimum, et il faut avoir soin alors d'enlever fréquemment les cendres.

Il est bon de placer dans le fond du cendrier une cuvette en fonte

de 0m,10 à 0m,12 de hauteur, pleine d'eau et munie, à l'avant, d'un bec allongé se raccordant avec le sol extérieur. Les *escarbilles*, ou petits morceaux de charbon enflammés qui tombent de la grille, s'éteignent dans l'eau, ce qui empêche l'effet nuisible de leur rayonnement. Ces escarbilles, retirées facilement par l'avant, après extinction, sont séparées des cendres par criblage, et peuvent servir à nouveau comme combustible. On recueille ainsi une sorte de petit coke qui, sans la bâche pleine d'eau, aurait brûlé dans le cendrier d'une manière nuisible.

La surface brillante de la nappe d'eau, dans le fond du cendrier, indique au chauffeur l'état de la combustion sur la grille. Si la partie éclairée est irrégulière, et s'il y a des points noirs, c'est que la combustion se fait mal en ces points, et le chauffeur doit ringarder pour égaliser la couche de combustible.

La vapeur qui se dégage de l'eau de la bâche sous l'effet du rayonnement de la grille traverse le combustible, se décompose et contribue à allonger la flamme de ces combustibles secs et à faciliter leur combustion.

Conduite du feu. — Le feu d'un foyer doit être conduit de manière à obtenir une combustion aussi parfaite que possible pour utiliser la puissance calorifique du combustible et réduire la consommation au minimum.

Quand le foyer est allumé, il faut, pour maintenir la combustion, l'alimenter avec régularité. On procède par chargements intermittents, à des intervalles qui varient entre dix et vingt minutes; le chauffeur jette du combustible frais sur la couche en ignition, en ne couvrant que la moitié de cette couche dans le sens longitudinal, et charge la seconde moitié, lorsque la houille précédemment introduite est en pleine ignition. L'épaisseur est de 15 centimètres pour des houilles de qualité très inférieure et de 10 à 12 centimètres pour les qualités supérieures.

Par la manœuvre du registre, le chauffeur règle l'accès de l'air et, par suite, la quantité de combustible brûlé dans un temps donné. Il se base pour cela sur l'aspect de la flamme. Cette flamme doit être rouge et claire, sans fumée excessive. Si elle est blanche, cela dénote un tirage excessif.

Si les houilles sont en morceaux, le chauffeur les casse à la grosseur d'un œuf au plus. Si elles sont menues, il les mouille avant de

les charger dans le foyer. On pourrait croire qu'il peut en résulter une perte, puisqu'il faut fournir la chaleur qui est nécessaire pour la vaporisation de l'eau. Au contraire, on modérera une distillation trop rapide dans les premiers moments du chargement et, par suite, on réalisera une combustion plus complète.

Entre deux chargements, surtout lorsque les houilles sont collantes, le chauffeur doit ringarder le foyer, rompre les morceaux agglutinés, rétablir l'égalité d'épaisseur de la couche en comblant les vides ou les creux qui ont pu se produire et par où l'air passerait en trop grande abondance.

De temps en temps, le chauffeur doit enlever les cendres qui tombent dans le cendrier.

Si les cendres n'éprouvent aucune trace de fusion, elles se réduisent en matières pulvérulentes qui passent aisément à travers la grille. Assez souvent il se produit au feu une sorte de fusion pâteuse et il se forme sur les grilles des masses agglutinées appelées *mâchefers*, qui sont très volumineuses et qui obstrueraient le passage de l'air, si on ne les enlevait en temps utile. C'est l'opération du décrassage.

Décrassage. — Pour faire le décrassage, le chauffeur rejette aussi rapidement que possible, sur une moitié de la grille, tout le charbon en ignition, et met à découvert, sur l'autre moitié, le mâchefer adhérent aux barreaux; il le brise à coups de ringard et le retire en morceaux par la porte. Il opère de même pour l'autre moitié de la grille. Il ne doit jamais repousser le combustible incandescent à l'arrière de la grille, car il s'exposerait à démolir l'autel.

Ce décrassage est long et pénible, et, pendant tout le temps qu'on l'exécute, l'air pénétrant abondamment par la porte ouverte refroidit le foyer; aussi l'emploi des houilles produisant beaucoup de mâchefer est-il très désavantageux, ainsi que nous l'avons dit.

Le décrassage se fait, suivant la nature des combustibles, toutes les quatre ou six heures.

Épaisseur du combustible. — Il faut régler l'épaisseur du combustible suivant le tirage, afin d'obtenir une combustion à peu près complète sans trop grand excès d'air. Le chauffeur doit apprécier, à l'aspect du feu, suivant le combustible qu'il emploie et le tirage dont il dispose, quelle est l'épaisseur la plus convenable. Une trop forte épaisseur produit dans les couches supérieures la transformation de l'acide carbonique en oxyde de carbone et une perte de chaleur considérable.

Le chargement en couches épaisses est pourtant à recommander avec du combustible en gros morceaux, car il est économique et permet de développer, à surface de grille égale, une quantité de chaleur beaucoup plus grande que tous les autres modes de chauffe. Il est enfin plus facile à conduire.

En revanche, le chargement en couche épaisse ne convient pas du tout aux houilles friables susceptibles de s'agglomérer et de produire des mâchefers encrassant la grille.

Une épaisseur trop faible a l'inconvénient inverse : il passe trop d'air en excès, ce qui refroidit le foyer, en augmentant la quantité de chaleur emportée par les gaz dans l'atmosphère, au sommet de la cheminée.

Quelle que soit l'épaisseur admise, il faut avoir soin de ne pas laisser des trous se former dans le foyer. C'est le moyen spécifique pour reconnaître un bon chauffeur.

En général, les chauffeurs exagèrent l'épaisseur, afin de charger moins souvent. Les charges faibles et répétées sont au contraire favorables à l'économie du combustible. En effet, les variations d'épaisseur sont d'autant plus sensibles que les chargements sont plus espacés, et, par conséquent, on s'éloigne davantage d'une épaisseur régulière qui convient à la meilleure combustion.

Si, par exemple, le tirage est réglé pour une combustion de 65 kilogrammes par mètre carré et par heure, et si l'on charge toutes les dix minutes, il faut introduire, chaque fois, dans le foyer, un poids de $\frac{65}{6} = 10^{kg},8$ environ, par mètre carré de grille.

L'épaisseur, par ce chargement, est augmentée de $\frac{10^{kg},8}{900} = 0^{m},012$ (900 kilogrammes, poids du mètre cube de houille).

L'épaisseur moyenne du combustible étant de $0^{m},10$ à $0^{m},12$, on voit qu'en chargeant toutes les dix minutes on la fait varier de $\frac{1}{10}$ environ. Si le chargement n'a lieu que toutes les vingt minutes, il faut introduire chaque fois $21^{kg},6$, et l'épaisseur varie de $\frac{1}{5}$, ce qui constitue une différence sensible dans les conditions de marche avant et après le chargement. Cette différence atteindrait un taux inadmissible, si l'on ne chargeait que toutes les trois minutes, et la combustion serait mal réglée la plus grande partie du temps.

Il est bon, dans certaines chaudières, de charger toutes.les quatre minutes avec le quinzième de la consommation horaire.

Modes de chargement spéciaux aux chaudières de locomotives. — Les chauffeurs de locomotives emploient, pour charger leur feu, soit la méthode par côtés, soit la méthode par couche mince.

Dans la *méthode dite par côtés*, la plus employée en France, très usitée aussi en Angleterre, on charge contre les parois et vers l'arrière le combustible qui descend peu à peu vers le centre de la grille sous l'action des trépidations et du tirage. Au centre de la grille, la couche de combustion est plus mince, et l'air la traverse aisément ; il y a un excès d'air, et la combustion est très active ; la distillation se fait sur les côtés, et les gaz sont brûlés par l'air arrivant à travers la grille dans la partie centrale après chauffage à travers le combustible en ignition.

Ce mode de chargement donne d'excellents résultats avec la plupart des combustibles employés en France, mais il demande beaucoup de soin et d'attention de la part du chauffeur qui doit effectuer le chargement avec précision et rapidité, boucher les trous au fur et à mesure qu'ils se produisent et déposer alternativement le combustible dans les coins et contre la face arrière du foyer.

Le chargement par côtés est économique et ménage les parois du foyer, protégées par le combustible relativement froid qui les touche. Il s'applique aux foyers profonds ou de profondeur moyenne et à des qualités très variables de combustibles, avec des grilles horizontales ou inclinées. La voûte en briques n'est pas indispensable, comme elle le serait pour une chauffe en couche épaisse, mais elle est utile et améliore notablement la combustion. A vaporisation égale, le chargement par côtés demande une surface de grille plus grande d'environ un tiers que le chargement en couche épaisse.

La *méthode par couche mince* s'emploie avec les houilles maigres, avec les menus ne s'agglomérant pas au feu et avec l'anthracite en noisettes ou en menus. L'épaisseur de la couche de combustible étant très mince, la surface de la grille doit être très grande, afin que le foyer contienne à tout instant une quantité suffisamment grande de combustible en ignition. Cette surface s'élève à près de 6 mètres carrés dans les foyers Belpaire de certaines machines de l'État belge et jusqu'à 8 mètres carrés dans les foyers Wootten à anthracite usités aux États-Unis. Pour limiter la longueur de la grille, on l'élargit en la faisant déborder latéralement au-dessus des roues. Les grilles

doivent, avec ce système, être horizontales et composées de barreaux minces et rapprochés. Les charges sont très fréquentes ; afin d'assurer l'uniformité de la couche du combustible et d'éviter la formation des trous, on y distribue le charbon sur toute la surface en le lançant à la volée. Le tirage doit être très doux, afin de ne pas produire l'entraînement du combustible, qui est léger ; il n'y a d'ailleurs aucun inconvénient par suite de la grande surface de la grille sur laquelle se répartit l'appel de l'air.

Ce mode de chauffe s'applique surtout à des foyers extrêmement plats et sans voûte en briques, munis autant que possible de deux portes de chargement placées au niveau de la grille pour faciliter le travail du chauffeur.

Chargement mécanique. — Lorsqu'on jette de la houille fraîche sur de la houille en ignition, on refroidit le foyer, et les particules plus ou moins menues qui se trouvent dans la houille ordinaire, obstruent les passages de l'air, ce qui réduit momentanément le volume de l'air.

La chaleur du charbon en ignition recouvert par la nouvelle couche et le rayonnement des parois font distiller la houille, qui émet des gaz combustibles en quantité variable suivant sa composition. Comme l'air est précisément réduit au minimum à ce moment, les conditions de la combustion sont très mauvaises. L'air arrive en moins grande quantité, et la température est abaissée, au moment où, par suite de l'abondance des gaz, il faudrait le maximum d'air et une température élevée. Il y a alors un dégagement de fumée plus ou moins abondant.

Les particules menues brûlent les premières, et les plus fines sont souvent entraînées par le courant d'air ; les intervalles entre les morceaux s'augmentent peu à peu, ce qui facilite l'arrivée de l'air. En même temps, la distillation se termine, le volume des gaz combustibles diminue, et les conditions deviennent satisfaisantes.

L'épaisseur diminue ensuite, la houille se transforme en coke ; le dégagement des hydrocarbures cesse, et l'air arrive de plus en plus facilement, de sorte que son volume devient bientôt trop considérable et qu'il passe non altéré avec les gaz de la combustion. Cet état dure jusqu'à un nouveau chargement, après lequel les mêmes phénomènes se reproduisent successivement.

Il n'y a donc qu'une courte période entre deux chargements, pen-

dant laquelle les conditions de la combustion sont satisfaisantes. On en augmente la durée relative en rapprochant les chargements. Mais à chacun de ces chargements on ouvre les portes du foyer et il rentre de l'air froid sur la grille.

On a cherché mieux, et on a imaginé les chargeurs mécaniques.

Ces appareils sont très usités dans certains pays où la main-d'œuvre est coûteuse, aux États-Unis particulièrement.

Ils sont convenablement adaptés à la combustion des menus et des combustibles inférieurs ; notamment ils permettent de brûler les balayures ; ils entraînent une économie de main-d'œuvre que l'on peut estimer à 40 0/0 pour les grandes installations de 500 chevaux et au-dessus, s'ils sont complétés par des appareils automatiques pour la manutention du charbon ; ils sont susceptibles d'une certaine économie de combustible et permettent d'assurer une très grande régularité dans l'allure de la chauffe, les feux restant toujours clairs et propres.

En revanche ils présentent l'inconvénient de nécessiter des frais de premier établissement assez élevés et variant de 1.250 à 2.000 francs par mètre carré de surface de grille. Leur usure est grande, leur fonctionnement délicat. Enfin ils nécessitent une dépense de vapeur supplémentaire (2 0/0) pour leur mise en marche. Cette dépense peut atteindre 5 à 8 0/0, si l'on emploie un jet de vapeur ou un ventilateur.

On distingue deux types de chauffage mécanique : l'un par carbonisation du combustible (*coking-stokers*) et l'autre par répandage uniforme du combustible (*sprinkler-stokers*), les deux systèmes étant alimentés avec de la houille tombant d'une trémie. Dans le premier système, le combustible arrive lentement sur la sole ou table du foyer, des barreaux mobiles y étant disposés pour le faire avancer dans un rapport proportionnel à l'intensité voulue de la combustion. Dans le système à répandage, le combustible est égalisé, en couche aussi uniforme que possible, sur toute la surface de la grille, au moyen de râcloirs, pelles, etc., avec ou sans barreaux mobiles.

Nous donnerons quelques exemples de ces chargeurs mécaniques.

Chargeur Wilkinson. — Cet appareil, particulièrement destiné à l'emploi des menus d'anthracite, consiste essentiellement en une série de barres creuses, en fonte, faisant un angle d'environ 25° avec l'horizontale et dont les extrémités sont ouvertes. La partie supérieure est munie d'une série de redans dont les faces verticales sont percées

d'ouvertures formant tuyères et communiquant avec l'intérieur de la barre (*fig.* 37).

Les barres reposent à leur extrémité sur des boîtes creuses en fonte. Elles sont situées à une distance d'environ $0^m,100$ d'axe en axe, ce qui ne laisse entre elles qu'un vide très faible. Les barres, situées côte à côte, sont mues dans des directions opposées par un système de cames mises en mouvement par une machine motrice. La descente du combustible est assurée par le seul mouvement des barres, cet appareil ne comportant aucun mécanisme particulier d'alimentation.

Le mouvement de va-et-vient des barreaux n'absorbe qu'un dixième de cheval par grille. Chaque barreau de 100 millimètres de large a 26 tuyères à air de 60 sur 15 millimètres, soit 405 tuyères pour une

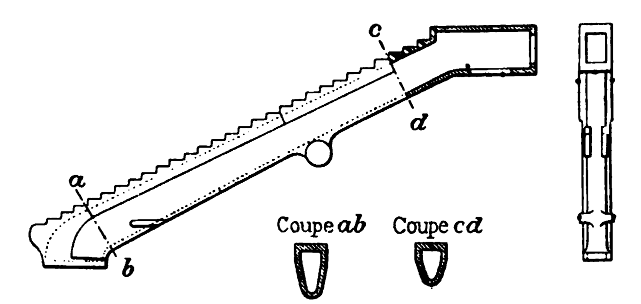


Fig. 37. — Chargeur Wilkinson.

grille de $1^m,50$ de large. On a ainsi une diffusion d'air parfaite sans crainte de brûler les grilles. Même avec de l'anthracite, on obtient des flammes de 12 mètres de longueur sans aucun dégagement de fumée. On dépense, pour l'injection d'air, 5 à 7 0/0 de la vapeur de la chaudière.

Chargeur Coxe. — Le chargeur Coxe se compose essentiellement d'une série de chaînes sans fin juxtaposées. Chacune d'elles engrène sur deux tambours à cames placés transversalement à l'avant et à l'arrière du foyer. Ces chaînes, qui sont horizontales à leur partie supérieure, forment en ce point la grille. A la partie inférieure, elles plongent, afin d'être refroidies, dans l'eau contenue dans le cendrier. Elles sont animées, par l'intermédiaire des rouleaux dentés, d'un mouvement continu qui produit la descente du combustible et l'alimentation du foyer.

Sous la grille ainsi constituée se trouvent quatre compartiments

(*fig.* 38) M′, N′, O′, P′, permettant de varier l'intensité du tirage au moyen d'un ventilateur. Le compartiment M′ reçoit l'air à une faible pression, simplement suffisante pour produire l'ignition du combustible. Le tirage est plus actif dans le compartiment N′ où se fait la combustion des gaz et d'une partie du carbone fixe. La combustion s'achève progressivement en O′ et en P′, où la pression décroît.

Les grilles Coxe et Wilkinson conviennent surtout pour les menus et les combustibles inférieurs. Elles permettent une économie de main-d'œuvre de 40 0/0 pour les grandes installations et une économie de combustible même à tirage forcé. La chauffe est régulière même avec de grandes variations de puissance. La dépense d'ins-

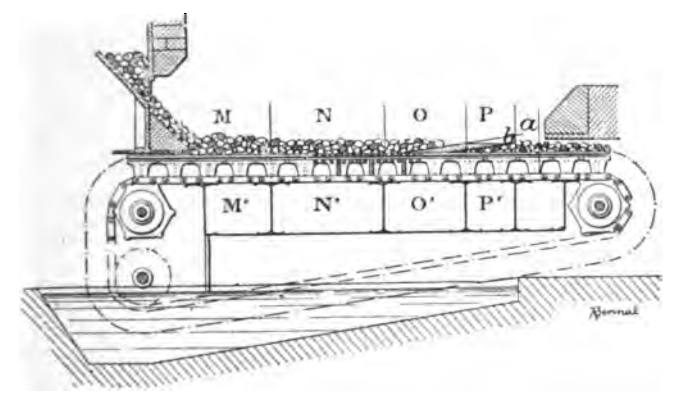


Fig. 38. — Chargeur Coxe.

tallation varie de 1.200 à 2.000 francs par mètre carré de grille et l'entretien coûte environ 520 francs par an.

Chargeur Babcock et Wilcox. — Cet appareil est construit sur le même principe que celui de Coxe, mais il fonctionne au tirage naturel et ne convient que pour les charbons bitumineux.

Il comporte une série de chaînes de Galle juxtaposées, enroulées sur des tambours à cames dont l'un placé au dehors, sur l'avant du fourneau, reçoit un mouvement intermittent et très lent par l'intermédiaire d'une roue dentée et d'une vis sans fin qu'actionne un levier à rochet sur lequel est articulée une barre d'excentrique calée sur l'arbre d'une petite machine motrice spéciale.

On règle la vitesse d'avancement de la grille en rapprochant ou en éloignant à volonté de l'axe de rotation le bouton d'articulation de la barre d'excentrique sur le levier.

La largeur de la grille varie de $1^m,15$ à $2^m,90$, et sa longueur de $1^m,80$ à $2^m,40$.

Cet appareil peut se diviser en quatre parties :

1° Le foyer;

2° Le chariot portant la grille;

3° L'appareil de chargement ;

4° Le mécanisme et la transmission.

Le foyer au-dessus de la grille ressemble aux foyers à grille ordinaire, avec cette différence que la voûte est beaucoup plus longue. C'est sous cette voûte que se fait la distillation du charbon. En dessous de la grille, le foyer comporte deux murettes limitant le cendrier, et sur ces murettes, un chemin de roulement pour le chariot de la grille. La largeur de la grille varie de $1^m,15$ à $2^m,90$ et sa longueur de $1^m,80$ à $2^m,40$.

Le chariot qui supporte la grille est établi de telle manière que tout l'ensemble de la grille peut être ramené en avant de la chaudière pour permettre de visiter tous les organes. Cette manœuvre n'est d'ailleurs pas nécessaire pour remplacer, le cas échéant, des barreaux de grille, remplacement qui peut être fait en quelques minutes.

La grille est formée de maillons de faible longueur reliés ensemble par des axes d'oscillation et constituant ainsi une chaîne sans fin commandée par un tourteau antérieur.

La chaîne tourne à la partie arrière sur un tourteau semblable dont l'axe est porté dans des coussinets mobiles permettant de la tendre.

L'appareil de chargement est constitué par une trémie dont les côtés et la face antérieure sont formés par des tôles de fer facilement démontables.

La partie arrière est composée de deux portes en tôle garnies intérieurement de pièces réfractaires, et munies de charnières leur permettant de s'ouvrir à droite et à gauche pour faciliter l'allumage, et, une fois fermées, de servir au réglage de la hauteur du combustible sur la grille.

Dans le type le plus récent, la trémie est surélevée au-dessus des portes de foyer et munie à sa partie inférieure d'un registre tournant qui permet de maintenir la charge de charbon, sans gêner l'ouverture des portes du foyer.

Le tourteau de commande est actionné par une roue avec vis

sans fin; la vitesse est réglable à volonté au moyen d'une roue à rochet permettant d'arrêter complètement le mouvement de la grille sans modifier la vitesse du moteur ni de l'arbre de transmission.

La transmission est supportée par les montants qui soutiennent la façade même des chaudières.

Le charbon emmagasiné sur une trémie placée en avant et au-dessus de la grille se dépose sur celle-ci par son propre poids, la grille l'entraîne dans son mouvement d'avancement vers l'arrière du fourneau; mais l'épaisseur du charbon entraîné est limitée par la distance qui sépare le niveau des grilles de la partie inférieure des portes du fourneau qui, dans ce cas, sont disposées en forme de volets coulissant verticalement.

Dès son entrée dans le fourneau, le charbon dégage les gaz qu'il contient; ceux-ci se brûlent complètement en passant sous la voûte prolongée et ensuite sur des couches de combustible incandescent où il achève sa combustion, tandis que la grille le transporte au fond du foyer. La vitesse d'avancement de la grille ainsi que l'épaisseur du charbon sont réglées de telle sorte que, lorsque la grille a achevé son mouvement de l'avant à l'arrière, le charbon qui s'y était déposé à son entrée soit complètement brûlé et qu'il ne reste plus que des mâchefers qui tombent dans un puits situé en arrière, d'où il est facile de les extraire une ou deux fois par jour, suivant les besoins.

Autres chargeurs à chaîne. — La grille Tibbitz est également une grille à chaîne assez simple et d'une visite facile et directe.

Dans la grille à chaîne Hofmann, le charbon placé dans une trémie et concassé par des cylindres est réparti sur un plan incliné par un distributeur à clapets qui le laisse tomber par petits paquets et sans rebondissement sur une chaîne en forme de V. Le plan incliné descendant de la chaîne est pourvu d'une plaque qui empêche l'air d'y pénétrer par-dessous, de sorte que le charbon ne s'enflamme qu'à la partie inférieure, après distillation sur la partie descendante. Les charbons incomplètement brûlés sont rejetés par un petit cylindre cannelé et les mâchefers sont détachés par une raclette. La flamme, obligée de passer sur le combustible en sens contraire de sa marche, l'échauffe graduellement et achève la combustion des gaz de la distillation.

On peut aussi alimenter à la main en relevant la plaque inférieure de la trémie.

On règle la vitesse de la chaîne au moyen d'un moteur avec courroie ouverte ou courroie croisée. L'arbre moteur commande en même temps les vannes d'accès de l'air, de manière à proportionner cet accès d'air à la vitesse de la grille.

Chargeurs de l'American Stoker C°. — Les grilles mécaniques construites par l'American Stoker C° sont du type à vis; la partie de la vis située sous la trémie d'alimentation est à pas constant avec moyeu creux; le prolongement de la vis est conique avec pas décroissant et sans moyeu central, ce qui facilite la levée du charbon et supprime le frottement considérable de ce moyeu sur le charbon. Dans certains modèles établis par l'American Stoker C°, les barreaux sont du type oscillant à fonctionnement automatique.

L'usure de ces grilles est assez grande; il faut fréquemment renouveler les tuyères et les barreaux. En ce qui concerne la main-d'œuvre pour une batterie de 1.500 chevaux, on aura deux chauffeurs et deux aides par journée de vingt-quatre heures. Le décrassage de la grille est assez difficile à cause de l'adhérence des scories aux briques réfractaires et de la grande chaleur du foyer. La vaporisation ramenée à 100°, et au kilogramme de charbon sec, est de $11^{kg},5$.

On a appliqué des grilles de l'American Stoker C° à des navires faisant le service des grands lacs et munis de chaudières Babcock et Wilcox, type marin. Ces grilles peuvent brûler chacune par heure 750 kilogrammes de charbon au tirage naturel et 950 au vent forcé.

Dans un essai fait sur le *Pennsylvania*, on a obtenu une marche fumivore avec vaporisation facile. Le charbon était gras, médiocre et sale; on dépensait 1,68 0/0 de la vapeur produite pour le service des chargeurs; les feux, ringardés toutes les vingt minutes, étaient décrassés toutes les six heures.

Chargeur Kincaid. — On a appliqué à un certain nombre de locomotives américaines un chargeur mécanique système Kincaid. Cet appareil se compose d'une trémie qui peut, au besoin, se renverser de manière à permettre le chargement à la main par la porte du foyer. Au fond de la trémie tournent, dans deux demi-cylindres, deux transporteurs hélicoïdaux qui amènent le charbon chargé dans la trémie au fond de cette trémie et de là dans un cylindre contenant un piston de chargement qui pousse le charbon dans le foyer. Les transporteurs et le piston de chargement sont mus par un moteur spécial dont la distribution est disposée de manière que l'on puisse facilement régler la vitesse du piston chargeur suivant l'allure du feu

Ce chargeur permet, paraît-il, de réaliser une économie de 10 à 20 0/0 sur un bon chauffage à la main et d'assurer pour les locomotives, sur des parcours sans arrêts atteignant 240 kilomètres, une répartition uniforme du combustible avec un feu très clair sans voûte réfractaire et sans qu'on ait besoin d'ouvrir la porte du foyer.

Chargeur Stauss. — Dans le foyer à chargement mécanique Stauss, le charbon tombe d'une trémie dans une chambre de gazéification d'où il s'étend sur une grille inclinée; la gazéification est aidée par la chaleur d'un pont et par celle du combustible incandescent sur la grille.

La hauteur de la grille varie avec la qualité du charbon, et il faut pouvoir relever la grille à la position d'arrêt pour empêcher l'air d'entrer en masse au foyer entre la grille et le pont. L'inclinaison de cette grille doit être telle que l'arrière soit toujours recouvert d'une couche de combustible de 30 centimètres environ et l'avant d'une couche de 20 centimètres. Une couche mince de 10 centimètres se gonflerait par la distillation et empêcherait la descente régulière du charbon. En outre, cette grande épaisseur permet de réduire beaucoup l'étendue de la grille et donne une température élevée; le vent est soufflé énergiquement par une buse placée en avant de la trémie de chargement.

Chargeurs mécaniques divers. — Parmi les grilles mécaniques diverses, citons : la grille à secousses Redpath et Reed, la grille à gradins oscillants de Roney; la grille Wood à gradins pivotants qui peut se transformer en un plateau continu permettant de décrasser facilement ; la grille à secousses Rumpf; la grille oscillante de Truesdell construite par la Cyclone Grate Bar C° de Toronto; la grille Mac Clave, de Scranton (Pennsylvanie); la grille mécanique Sfran, de Brunn (Autriche).

Dans la grille Frouvé, les barreaux, formés chacun de trois barres en dents de scie pour avancer le charbon amené d'une trémie par des ailettes, reçoivent un mouvement de va-et-vient par des cames, qui les soulèvent également au moyen de taquets et d'encoches.

Dans la grille Hodgkinson, le charbon est amené d'un broyeur par un registre à un injecteur avec jet d'air ou de vapeur qui répand le combustible sur une grille comprenant une série de barreaux fixes et deux séries de barreaux mobiles. Les barreaux mobiles, comman-

dés par des cames montées sur un arbre, sont alternativement avancés et reculés en entraînant une deuxième série de barreaux mobiles par l'intermédiaire d'un jeu de bielles.

La grille Wagner comporte un transporteur à hélice qui amène le charbon sur une grille inclinée d'où il passe sur une série de grilles en gradins ayant chacune une grille supplémentaire glissant au-dessous d'elle. Le charbon, après être resté quelque temps sur la première grille, est poussé sur la grille inférieure. L'air est amené par des barreaux creux au-dessous du foyer ; il en pénètre aussi une certaine quantité entre les portes placées au-dessus des grilles en gradins et enfin près du cendrier au moyen d'un registre spécial.

On emploie beaucoup en Angleterre le chargeur mécanique par carbonisation système Vicar, qui est un appareil à trémie avec barreaux à mouvement alternatif.

Dans l'underfeed stoker, le combustible est introduit dans le foyer en dessous de la couche en combustion.

On sait, en effet, que l'un des principaux inconvénients du chauffage au jet de pelle provient de ce que le combustible est projeté sur la couche incandescente ; ce mode d'opérer trouble la vaporisation, et il se perd une grande quantité de gaz de distillation non brûlés qui s'échappent sous forme de fumées épaisses mélangés à de fines particules de charbon. L'alimentation d'un foyer par en dessous est très avantageuse puisqu'elle permet d'atteindre la fumivorité tout en assurant la combustion des gaz de distillation, qui ont ainsi à traverser la couche incandescente.

Appareil James Proctor. — Le caractère essentiel de cet appareil est la répartition du combustible sur la grille au moyen d'une pelle actionnée par un ressort très puissant.

Une trémie (*fig.* 39) commune à deux foyers reçoit la houille, qui est introduite à la main ou amenée par une vis d'Archimède. Dans cette trémie se trouve un bloc recevant un mouvement alternatif d'un excentrique circulaire, et ayant pour but, d'une part, de briser les gros morceaux contre les parois de la trémie et, d'autre part, de répartir la charge entre les deux foyers. En sortant de la trémie, le charbon tombe dans une boîte circulaire où se meut une pelle folle sur un arbre dont le centre correspond au centre

de courbure de la boîte. L'arbre porte un taquet actionné par les chevilles, inégalement espacées au centre, d'une roue à lanterne, de sorte que le contact plus ou moins prolongé de la cheville fait faire à l'arbre une fraction de révolution plus ou moins longue. L'autre extrémité de l'arbre est munie d'un levier qui agit sur un fort ressort à boudin, et bande plus ou moins celui-ci, suivant la position de la cheville qui a agi sur le taquet. Un mécanisme d'encliquetage est relié au ressort, d'une part, et, d'autre part, à la pelle par un arbre creux à excentrique. Il est réglé de manière à déclencher au moment voulu, pour imprimer à la pelle un mouvement plus ou moins brusque, suivant le degré de tension du ressort. La pelle projette le charbon placé devant elle dans la boîte à une distance plus ou moins grande de l'avant du foyer. Une porte à bascule permet le décrassage et, au besoin, le chauffage à la main.

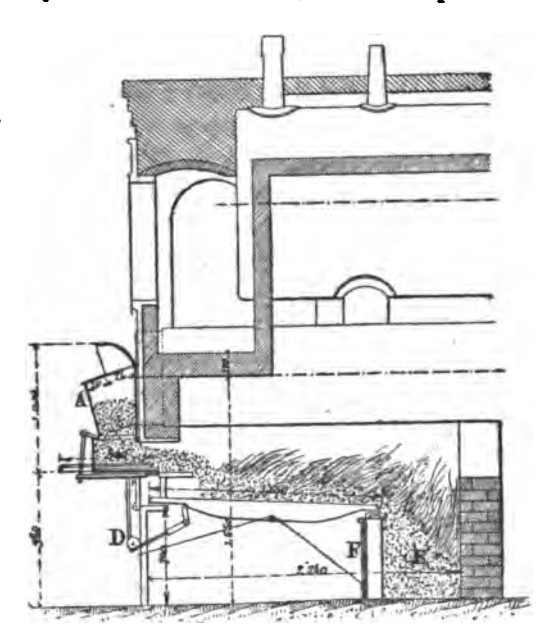


Fig. 39. — Appareil Proctor.

Une roue à cliquet agissant par une cheville sur une coulisse mobile et sur un levier permet de donner plus ou moins de course aux barreaux de la grille, ce qui brise les mâchefers et amène lentement le combustible brûlé à l'arrière de la grille.

Le chargeur mécanique par répandage système Bennis diffère de celui de Proctor par l'emploi de deux trémies de chargement au lieu d'une et de rouleaux concasseurs au lieu d'un bloc animé d'un mouvement alternatif.

Appareil Moutte. — La grille Moutte, d'application récente, a donné, notamment pour les chaudières marines, des résultats qui ont

attiré l'attention. Cette grille se compose de barreaux en fer supportés par des balanciers que l'on peut faire osciller à la main. Suivant les dimensions de la grille, on dispose un ou deux balanciers à l'avant et le même nombre à l'arrière. Chaque balancier a la forme d'un cadre rectangulaire qui repose par le milieu de ses petits côtés sur des couteaux portés par des traverses longitudinales fixes. Sur les grands côtés du cadre sont disposés des supports à encoches qui portent les barreaux et les entraînent dans leur mouvement. Les supports permettent de régler l'écartement des barreaux. Les balanciers correspondants d'avant et d'arrière sont reliés par deux bielles rendant leurs mouvements solidaires et permettant d'égaliser le plan de la grille. Un levier attelé sur les balanciers avant sert à imprimer le mouvement aux barreaux.

Chaque balancier porte deux systèmes de supports : l'un sur le grand côté antérieur, l'autre sur le grand côté postérieur. Les supports antérieurs de deux balanciers conjugués porteront les barreaux de rang pair, par exemple, et les supports postérieurs porteront les barreaux de rang impair. Comme les balanciers portent sur les couteaux par les milieux des petits côtés du cadre, il en résulte que le mouvement alternatif de ce levier de manœuvre produit l'oscillation du cadre et, par suite, les supports antérieurs de l'un et de l'autre des balanciers conjugués s'élèvent, pendant que les supports postérieurs s'abaissent. Les barreaux pairs s'élèveront donc pendant que les barreaux impairs s'abaisseront, et cela en restant parallèles à eux-mêmes. Les arêtes supérieures des barreaux resteront en même temps toujours parallèles au plan de la grille. Un verrou de sûreté oblige tous les barreaux à revenir automatiquement dans un même plan après chaque manœuvre de la grille.

La grille Moutte a été appliquée sur un grand nombre de paquebots des Messageries maritimes ; avec des chaudières Belleville, elle permet de développer plus de 200 chevaux par mètre carré de grille avec tirage soutenu au moyen de ventilateurs soufflant dans les chaufferies ouvertes. Si l'on emploie des chaudières cylindriques à retour de flamme, on peut compter sur 135 chevaux par mètre carré de grille.

Décrassage mécanique. — L'appareil Proctor combine le chargement mécanique avec le décrassage automatique, ce qui facilite le travail du chauffeur. D'autres essais ont été faits dans le même but.

On a essayé des barreaux à surface bombée, percés de fentes longitudinales ; juxtaposés, ils composent une grille avec des espèces

de rainures, de telle sorte que l'air arrive à différentes hauteurs sur l'épaisseur du combustible; on espérait ainsi diminuer l'adhérence du mâchefer et rendre la combustion plus complète. Les résultats ont été médiocres, et les applications fort restreintes.

M. Schmitz a imaginé une grille munie de barreaux en forme de cylindres creux, percés d'ouvertures rectangulaires par lesquelles pénètre l'air. Ces cylindres se prolongent jusqu'à l'avant du fourneau où ils se terminent par une forte tête de boulon à six pans. Au moyen d'une clé, le chauffeur peut donner successivement à chaque barreau un mouvement de rotation. Il brise et détache de cette manière les mâchefers et fait tomber les cendres dans le cendrier, ce qui permet le dégagement de la grille sans ouvrir la porte.

La grille articulée Wackernie se compose d'une série de barreaux ayant une extrémité fixe et l'autre mobile; les barreaux pairs s'élèvent ensemble à une extrémité, tandis que les barreaux impairs s'abaissent à l'autre, et réciproquement. Dans ce mouvement d'oscillation, les barreaux forment comme une cisaille, décollent le mâchefer et font tomber les cendres, ce qui rétablit les passages réguliers de l'air sans qu'on ait besoin d'ouvrir la porte. Le mouvement du levier s'opère sans grand effort, le poids des barreaux pairs agissant en sens inverse du poids des barreaux impairs.

Il était bon de signaler ces essais de décrassage automatique; mais aucun des appareils imaginés n'est réellement pratique.

Choix du combustible. — Un foyer étant donné, il faudra choisir le meilleur combustible approprié à ce foyer. Il faudra inversement régler son foyer sur la nature des houilles dont on dispose. On se base pour cela sur le pouvoir calorifique, le rendement en gaz, la quantité et la nature du coke produit.

A ce point de vue, les diverses houilles donnent les résultats suivants dans les foyers.

Matières volatiles. — Les anthracites et les charbons maigres produisent peu de gaz en brûlant, leur flamme est peu éclairante; ces qualités n'encrassent pas les foyers et ne fument pas, mais elles réclament un fort tirage; elles sont appréciées, dans les appareils spéciaux, pour leur combustion lente et leur longue durée; elles conviennent, notamment, pour la cuisson de la chaux, des ciments et de la brique.

Les charbons quart gras exigent un bon tirage; les demi-gras s'allument plus facilement et sont les combustibles par excellence pour la production de la vapeur; ils sont recherchés, à ce titre, par les chemins de fer et la navigation et pour le chauffage des chaudières multitubulaires. Ils sont employés également dans les distilleries et les sucreries et ont l'avantage de ne pas donner de fumée dans les villes.

Les charbons trois quarts gras, ou charbons à coke, conviennent particulièrement pour la carbonisation en raison de leur fort rendement en coke; leur coke est dense et bien aggloméré. Ces charbons s'emploient avec avantage pour la production de la vapeur dans les chaudières semi-tubulaires et dans les chaudières à bouilleurs; ils sont employés par les Compagnies de chemin de fer et de navigation, par les verreries, les établissements céramiques et les forges.

Les charbons gras, dans lesquels rentrent les houilles maréchales, constituent les charbons de forge par excellence; ils s'agglomèrent au feu, forment bien la voûte, ce qui les fait apprécier pour le forgeage des pièces; ils conviennent également pour les fours à puddler et à réchauffer.

Les charbons gras à longue flamme ou charbons à gaz donnent un fort rendement en volume dans la fabrication du gaz d'éclairage et doivent fournir un bon pouvoir éclairant, tout à la fois; ils dégagent environ 30 à 40 mètres cubes de gaz par 100 kilogrammes de houille distillée. Ils sont employés dans les gazogènes et dans les fours à réchauffer; on s'en sert aussi dans les verreries et dans les fabriques de produits céramiques; la grande longueur des flammes obtenue dans leur combustion, les fait apprécier pour le chauffage des chaudières de dimensions notables et à long retour de flamme ainsi que pour les fours à réverbère.

La houille sèche à longue flamme a les mêmes avantages que les catégories précédentes, mais à un plus haut degré; sa combustion est plus vive, et elle convient pour les opérations industrielles qui réclament une chaleur intense et de courte durée, c'est-à-dire un fort coup de feu à un moment déterminé. Cette qualité fume beaucoup et passe vite; elle ne s'agglomère pas comme la précédente; mélangée avec les charbons maigres, ou quart gras, elle donne un excellent chauffage. Les charbons dits flénus en sont le type par excellence.

Cendres. — Indépendamment de la nature du combustible, il faut aussi considérer les impuretés, les cendres de toute nature, pour ne pas compromettre la conservation des grilles.

Une proportion trop grande de pyrites dans la houille est une source d'inconvénients graves pour les barreaux des grilles et pour les autres parties du foyer. Les pyrites dégagent, en effet, des vapeurs de soufre qui, au contact des barreaux chauffés au rouge, donnent naissance à du monosulfure de fer très fusible. Quelquefois cette attaque est assez considérable pour que le sulfure forme des sortes de stalactites à la partie inférieure des grilles. Dans certaines circonstances, l'oxyde de fer provenant des pyrites de houille donne lieu à une forte proportion de laitier, en se combinant avec la chaux des cendres et avec la petite quantité d'alcalis qu'elles renferment. Beaucoup de cendres deviennent alors complètement liquides, d'autres se ramollissent jusqu'à devenir collantes et à s'agglomérer.

La manière dont les cendres se comportent a, dans la pratique, une grande importance : les cendres collantes ont, en effet, l'inconvénient d'encrasser les grilles, de réduire le tirage et de nuire à la marche du feu. En général, une houille est donc, ainsi que nous l'avons dit, d'autant meilleure que ses cendres sont moins fusibles. Ce n'est que dans des cas exceptionnels, comme pour les houilles du sud du Pays de Galles, que cette propriété peut être utile, en permettant d'utiliser certaines houilles maigres et de peu de valeur. Ces houilles ne se brûlent pas, en effet, sur des grilles à travers lesquelles elles tamiseraient, mais sur une couche de 30 à 40 centimètres de cendres agglomérées, dont les vides et les boursouflures laissent encore à l'air un passage suffisant.

Composition des mélanges de houille. — Le plus souvent les industriels obtiennent une meilleure vaporisation en réalisant des mélanges de combustibles.

La composition des mélanges doit être surveillée de près et opérée suivant des principes rationnels. Beaucoup de combustibles ne présentent pas les qualités requises pour être mélangés ensemble.

Prenons comme exemple les combustibles du tableau suivant qui peut servir de base pour obtenir (dans l'Ouest de la France ou à Paris) de bons mélanges, soit directement, soit par analogie.

	ÉTAT de la HOUILLE	TENEUR en MATIÈRES VOLATILES	TENEUR en CENDRES	NATURE des CENDRES
Cardiff.....	gros	14 à 15	3 à 5	infusibles
	menu	14 à 15	9 à 10	id.
Carvin	tout-venant	13 à 14	4 à 5	légèrement fusibles
	menu	12 à 13	11 à 12	id.
Aniche.....	tout-venant	14 à 16	9 à 11	assez fusibles
Escarpelle..	grains lavés	20 à 23	8 à 10	infusibles
Dourges....	tout-venant	23 à 25	6 à 7	assez fusibles
Marles	menu	36 à 37 flambant sec	9 à 11	fusibles
Lens.......	tout-venant	24 à 26	7 à 9	id.
	menu	24 à 26	9 à 11	id.
Ferfay	tout-venant	24 à 26	8 à 10	infusibles
Drocourt...	menu	23 à 25	10	fusibles
Newcastle ..	gros	35 à 37	3 à 4	infusibles

On peut, d'après ce tableau, former de bons mélanges, contenant de 18 à 20 0/0 de matières volatiles, avec des cendres de fusibilité très réduite, en prenant pour base les tout-venants de Carvin ou d'Aniche et en y ajoutant, tonne pour tonne, soit du tout-venant de Dourges ou de Ferfay, soit encore des grains lavés de l'Escarpelle ou du Newcastle. Si l'on part des menus de Cardiff, on peut y ajouter, dans la même proportion, soit du Ferfay (tout-venant ou menus), soit des grains lavés de l'Escarpelle ou du Newcastle ; ce mélange donnera des cendres infusibles avec 19 à 20 0/0 de matières volatiles. On aura des cendres peu fusibles en mélangeant aux menus de Cardiff, des menus de Marles, de Drocourt ou de Lens ou bien des tout-venants de Lens ou de Dourges.

Voici un autre exemple de mélange possible à cendres infusibles, renfermant 19 à 20 0/0 de matières volatiles :

Tout-venant de Carvin........................	17 0/0
Menus de Carvin.............................	34 0/0
Tout-venant ou menus de Lens ou de Ferfay..	49 0/0

En mélangeant 65 0/0 de Cardiff avec 35 0/0 de bon Newcastle, on obtient un mélange à cendres infusibles, contenant 20 à 21 0/0 de matières volatiles. Si l'on considère les menus du nord de la France, on peut se régler par exemple sur les bases suivantes :

HOUILLES	TENEUR en MATIÈRES VOLATILES	TENEUR en CENDRES	NATURE DES CENDRES
Menus de Marles..............	33 à 35	11 à 12	fusibles
Menus de Béthune gras.......	32 à 34	9 à 10	légèrement fusibles
Menus et tout-venants de Ferfay	24 à 25	10 à 11	infusibles
Menus de Dourges............	22 à 24	6 à 8	légèrement fusibles
Menus de Béthune maigres....	13 à 14	10 à 11	id.
Menus de Carvin..............	12 à 13	11 à 12	fusibles

On peut employer sans mélange les menus lavés de Dourges et de Marles, les menus et les tout-venants de Ferfay, indépendamment de l'addition de briquettes ou de gros charbons. Les menus maigres de Béthune et de Carvin seront mélangés avec moitié de combustibles gras au minimum, par exemple avec des menus de Dourges ou de Béthune ou avec des menus ou du tout-venant de Ferfay.

Dans le Nord de la France on pourra employer un combustible constitué pour la plus grande partie de fines auxquelles on adjoindra du tout-venant et des briquettes, surtout s'il s'agit du service des chemins de fer. Les briquettes servent alors à l'allumage, à la mise en pression et dans des cas particuliers où l'on doit relever ou pousser le feu. La houille sera employée sous forme de mélange composé d'un quart tout-venant (à 30 0/0 de gailletteries), trois quarts de fines ou menus, criblés sur barreaux longs, espacés de 1 à 4 centimètres. Un tiers du poids des fines sera, par exemple, formé de fines à 1 centimètre, et les deux autres tiers de fines à 4 centimètres. Pour les trains express la proportion de tout-venant sera portée à 50 0/0 au lieu de 25 0/0.

Au point de vue de la nature, le combustible à employer dans le Nord de la France sera, par exemple, formé de 40 0/0 de charbon très gailleteux, 25 0/0 de charbon à coke, 25 0/0 de charbon demi-gras et 10 0/0 de charbon maigre, soit environ deux tiers de charbon gras et gazeux sous forme de tout-venants et de fines, provenant surtout des mines du Pas-de-Calais et contenant 20 à 35 0/0 de matières volatiles; le reste, soit un tiers, pourra être du charbon demi-gras et maigre sous forme de fines, provenant des mines du Nord et de la Belgique et renfermant 11 à 18 0/0 de matières volatiles. Les charbons

des diverses provenances seront mélangés de manière à constituer un combustible contenant environ 25 0/0 de matières volatiles.

Dans l'Est de la France, on emploiera notamment en mélanges les qualités suivantes :

Charbons menus maigres du Nord de la France, de Saône-et-Loire et du bassin de la Sambre (Belgique) ;

Charbons menus demi-gras des bassins de Charleroi et Liège (Belgique) ;

Charbons menus gras flambants des bassins du Nord et du Pas-de-Calais ou de Saône-et-Loire ;

Grosse houille flambante des houillères de la Saar (Prusse) ;

Charbons menus flambants des houillères de la Saar.

Dans le Midi, les différentes houilles employées pourront être :

Du charbon grêle, du charbon grenu, du charbon menu et des fines, provenant des mines de Carmaux (Tarn) ;

Du charbon en roche et des petites noisettes, provenant des mines de Graissessac (Hérault) ;

Les noisettes provenant des mines de Campagnac (Aveyron).

On peut refuser les houilles maigres de moins de 10 0/0 de matières volatiles et les charbons flambants de plus de 35 0/0 de matières volatiles. Les uns exigent un tirage excessif ; les autres ont un pouvoir calorifique trop peu élevé, et le mélange des deux qualités ne donne même pas toujours une qualité de combustible d'un bon emploi.

En Angleterre, on brûle, en général, des houilles de très bonne qualité donnant une vaporisation de 8 à 9 kilogrammes ; les meilleures sont celles du Pays de Galles, que l'on mélange parfois avec un tiers de charbon maigre, *hard coal.* La houille du Derbyshire est presque aussi estimée ; on l'emploie sur les réseaux du Centre, particulièrement sur le Midland. Les lignes de la côte Est de l'Angleterre, comme le North Eastern, font usage de houille de Newcastle. Les lignes écossaises brûlent, en général, du charbon de pays, inférieur aux houilles anglaises.

Pour le service des chemins de fer, on charge le charbon sur les tenders, tel qu'il vient de la houillère ; il n'y a donc pas vraiment de mélange en Angleterre.

En Amérique, les menus d'anthracite sont brûlés en mélange avec des charbons gras. A New-York, on brûle un mélange qui ne contient pas beaucoup plus de 10 0/0 de menus gras. De même, on

peut mélanger les menus d'anthracite avec des résidus épais des raffineries de pétrole.

En ce qui concerne spécialement le service des chemins de fer, les mélanges doivent être opérés de manière à assurer, en même temps qu'une teneur convenable en matières volatiles, une combinaison de cendres telle que l'influence fâcheuse de la fusibilité soit éliminée.

Dans cet ordre d'idées, on pourra, par exemple, mélanger les houilles à cendres plus ou moins fusibles des bassins du Nord et du Pas-de-Calais aux charbons du Pays de Galles, du Northumberland et du Durham à cendres infusibles. Au point de vue des matières volatiles, on mélangera des charbons du Pays de Galles avec des charbons du Northumberland ou du Durham.

Il est difficile de fixer des proportions absolues pour ces mélanges, car tout dépend des conditions d'exploitation des lignes et des plus ou moins grandes facilités de réception des différentes sortes de charbons. A titre d'exemple, on peut dire qu'un mélange de 3/4 de Cardiff et de 1/4 de charbon du Durham et du Northumberland donnera de bons résultats économiques.

Indépendamment du genre de mélanges que nous venons de signaler, on peut en réaliser d'autres très intéressants avec des briquettes, du gros et du menu. Il est, d'ailleurs, également impossible de donner une formule générale, mais la proportion du gros ou des briquettes par rapport au menu est d'environ 50 0/0. La proportion de menu tend à augmenter au fur et à mesure de l'augmentation de l'effectif des machines à grande grille.

Cependant il ne faut pas perdre de vue ce principe que l'emploi de matières premières de qualité inférieure ne procure souvent qu'une économie apparente. Avec l'emploi exagéré des menus, la vaporisation est certainement beaucoup moins abondante et moins sûre.

Les chauffeurs, s'ils sont consultés, préfèreront toujours les gaillettes, comptant de la sorte se remettre plus rapidement en pression. En réalité, le menu vaut moins que la gaillette, à cause de sa plus forte proportion de cendres ; théoriquement, l'excès de cendres dans les menus est en général de 9 0/0. Industriellement, étant donné que les cendres peuvent entraîner avec elles une certaine quantité de charbon non brûlé, l'écart est de 20 à 25 0/0 au point de vue de l'utilisation, 30 0/0 au maximum.

D'autre part, l'emploi exclusif de gros morceaux est préjudiciable à la bonne marche d'une chaudière. La couche de combustible sur la grille est plus inégale et les rentrées d'air, si mauvaises pour une vaporisation régulière, seront plus fréquentes.

CHAPITRE VII

FOYERS SPÉCIAUX

Foyers soufflés. — *Injection de vapeur.* — Appareil Orvis. — Grille Poillon. — Foyer Kudlicz. — Foyer Meldrum. — Foyers à injection combinée de vapeur et de pétrole. — *Injection d'air.* — Foyer Neuerburg. — Foyer Vicar. — Foyer Mac Cornick. — Foyers divers. — Foyers Michel Perret. — Grilles immergées. — *Foyers à poussier.* — Appareils de broyage. — Transport à distance. — Principes de la combustion. — Historique. — Appareil Wegener. — Appareil Friedeberg. — Appareil Schwarzkopf. — Appareil Baumert et Wegmer. — Appareil Rühl. — Appareils divers.

Nous avons décrit, au chapitre précédent, le foyer tel qu'on le construit pour un combustible de composition moyenne. Nous avons indiqué également comment devait se conduire le feu et comment se réalisaient les mélanges, dans le but d'obtenir une vaporisation déterminée.

Mais le foyer ordinaire ne s'applique plus pour des combustibles fortement anthraciteux. Il en est de même pour des menus très cendreux ou pour des déchets de lavage qu'on voudra utiliser sous une chaudière. Le foyer devra alors être soufflé à l'instar de certains foyers métallurgiques, où l'on active ainsi la combustion et la chaleur de combustion des produits employés.

Foyers soufflés. — Le soufflage se fera soit par ventilateur, soit par injection de vapeur. D'après M. Wagner, le souffleur à vapeur sous les grilles à anthracite est très commode. Toutefois, avec un ventilateur, la combustion est un peu plus complète; il reste moins de charbon avec les cendres.

Nous allons successivement examiner ces deux modes de soufflage des foyers et indiquer quelques appareils où les deux procédés s'emploient parallèlement.

Disons, d'abord, que l'emploi des foyers soufflés évite les pertes

occasionnées par les rentrées d'air dans un foyer à tirage naturel, puisque, au lieu d'avoir une aspiration dans les carnaux, on crée au contraire une pression.

On reproche surtout aux foyers soufflés la possibilité plus grande qu'avec les grilles ordinaires de brûler les tôles de chaudières, à cause des jets de chalumeau que l'on prétend produits par la soufflerie. Ce reproche est basé sur des essais faits par M. de Marsilly, il y a une vingtaine d'années, pour brûler les charbons maigres à l'aide du tirage forcé par ventilateur. Mais ces résultats fâcheux ont été dus exclusivement à l'emploi de pressions d'air beaucoup trop élevées et à l'emploi de barreaux de grille sujets à se déformer et à s'écarter. Dans les appareils que nous allons examiner on a cherché à remédier à ces inconvénients.

Injection de vapeur. — On a réalisé de bien des manières l'injection de vapeur, on la fait soit en dessus soit en dessous des grilles pour augmenter le rendement du combustible.

On a cru longtemps que, la vapeur étant décomposée, l'hydrogène devait produire par sa combustion un supplément de chaleur. Cette idée est fausse, la chaleur absorbée par la décomposition de la vapeur étant exactement égale à celle qui est dégagée par l'hydrogène mis en liberté.

Si l'injection de vapeur donne quelquefois des résultats satisfaisants, c'est en augmentant le tirage ou bien en brassant et mélangeant les gaz combustibles et comburants, ce qui favorise la combustion.

On injectera de la vapeur surchauffée. Le surchauffage de cette vapeur a pour but d'empêcher le trop grand refroidissement qui pourrait se produire par suite de la détente de la vapeur dans le foyer.

Enfin on a modifié l'injection de vapeur de manière à faire arriver, dans le foyer, de l'air en même temps que la vapeur et à faciliter ainsi une combustion complète. L'injection se fait au moyen d'ajutages à trois orifices concentriques dont deux annulaires. La vapeur arrivant par celui du milieu aspire dans les deux autres l'air atmosphérique qui est lancé avec elle sur le charbon.

Appareil Orvis. — L'appareil Orvis est un injecteur d'air actionné par de la vapeur empruntée à la chaudière. Un certain nombre d'injecteurs pareils sont installés autour du foyer en des

points convenablement choisis, et leurs jets convergent vers le centre du foyer (*fig.* 40).

Ces injecteurs (*fig.* 41) comportent une buse A dont l'ouverture est réglée par une aiguille à vis B. La vapeur arrive par C, l'air par D, et le jet de vapeur et d'air mélangé jaillit dans la chambre de combustion.

On limite l'insufflation à une période de quelques minutes après chaque chargement, c'est-à-dire aux moments où la fumée est abon-

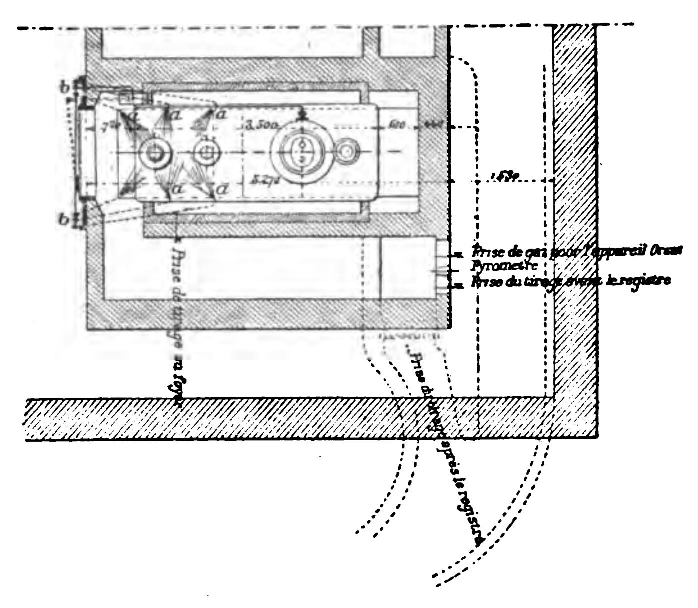


Fig. 40. — Disposition des injecteurs Orvis dans un foyer.

dante. A cet effet, on peut faire commander la canalisation de vapeur desservant les injecteurs par un robinet. Ce dernier robinet est lui-même commandé par une cataracte à piston et à circulation d'huile qui ouvre le robinet au moment où s'ouvre la porte du foyer et le referme quelques instants après la fermeture de la porte. La durée de l'ouverture et, par conséquent, de l'insufflation, peut être ainsi réglée, une fois pour toutes, au moyen d'un pointeau à vis agissant sur l'orifice d'écoulement de l'huile dans la cataracte.

La même idée a été proposée bien souvent sous des formes variées; pour ne rappeler que les dispositifs les plus connus, citons

ceux de MM. Thierry, Turck, Belleville. Ces sortes de souffleurs ne doivent évidemment pas être employés d'une manière continue : ils dépenseraient trop de vapeur; on ne les met en activité qu'au moment des chargements.

Les souffleurs à vapeur ne peuvent fonctionner qu'à la condition que la chaudière soit en pression; pendant toute la durée de la période d'allumage, ils sont réduits à l'inaction; leur efficacité, déjà

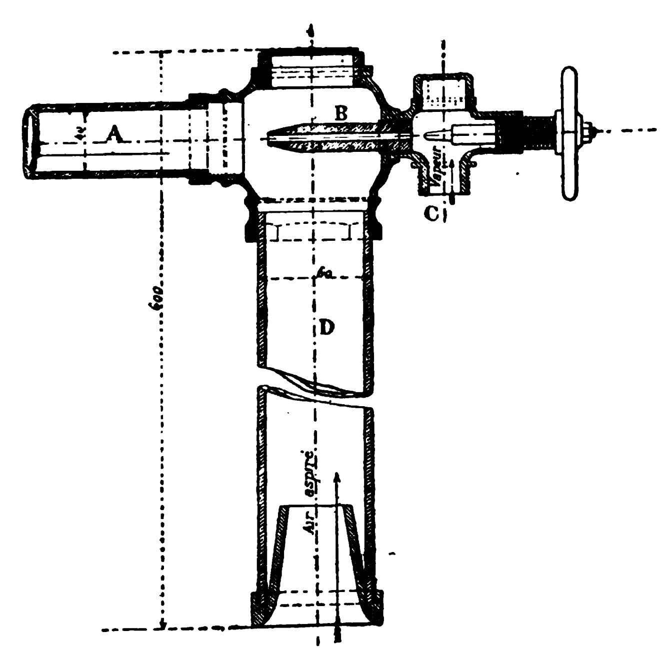


Fig. 41. — Appareil Orvis.

médiocre par elle-même, est donc encore diminuée lorsqu'ils sont affectés à des chaudières faisant un service intermittent; c'est le cas, notamment, dans beaucoup d'usines électriques.

Grille Poillon. — Cette grille est à tirage forcé par la vapeur. Les barreaux, au lieu d'être, comme d'habitude, parallèles à la longueur de la grille, sont placés transversalement (*fig.* 42).

Les lumières prismatiques, laissées comme espaces libres par les barreaux entre eux, sont inclinées à environ 45° vers l'autel, de sorte que les flammes ne frappent plus verticalement les bouilleurs. En même temps cette disposition a pour but de faciliter l'accès de l'air

et surtout de forcer les flammes à former éventail. Enfin près de l'autel, les dernières séries de barreaux ou de plaques (car on peut employer aussi des plaques à lames de persiennes) ont leurs lumières inclinées vers l'avant du foyer, c'est-à-dire en sens inverse de celles des autres séries de barreaux ou de plaques; les gaz subissent donc, avant leur sortie du foyer, un brassage forcé qui favorise leur combustion complète.

Dans une usine de teinturerie, à Rouen, l'emploi de la grille Poillon a permis de remplacer du gros Cardiff à 38 francs la tonne par

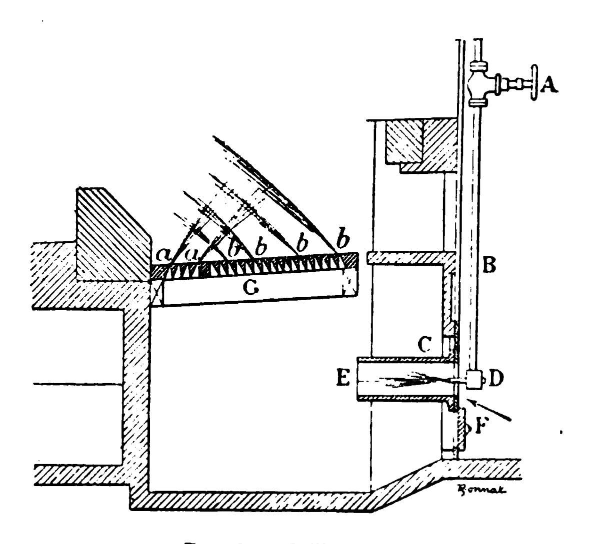


Fig. 42. — Grille Poillon.

des fines Llanelly à 28 fr. 50. On a réalisé une économie de 25 0/0, avec une fumivorité complète et une dépense d'installation de 900 francs seulement.

A Bordeaux, la Compagnie des chemins de fer du Midi a appliqué des grilles Poillon à six chaudières de 200 mètres carrés de sa station centrale d'électricité et aux chaudières de ses ateliers où l'on brûle les résidus de boîtes à fumée des locomotives.

La grille Poillon brûle, avec une économie de 15 à 40 0/0, des menus, au lieu de tout-venants, des poussiers de houille, de coke, des escarbilles et il n'y a pas usure de la grille, puisque les mâchefers refroidis constamment par une injection d'air et de vapeur n'adhèrent pas aux barreaux.

Foyer Kudlicz. — La grille Kudlicz est établie pour brûler complètement et dans les meilleures conditions les combustibles à bon marché : charbons maigres, poussiers de houille, de coke, lignite, anthracite, escarbilles, tan, sciures, et jusqu'aux résidus des boîtes à fumée des locomotives, comme le font certaines Compagnies de chemins de fer.

La grille se compose de plaques (*fig.* 43) percées de trous coniques de 8 millimètres de diamètre en haut et de 20 millimètres en bas. Il y en a environ 1.300 par mètre carré de grille, ce qui donne une surface libre d'environ 0m,206 par mètre carré. Les plaques ont 0m,22 de largeur ; elles se placent à volonté en long ou en large sur le châssis du caisson. La grille est fermée hermétiquement de toutes parts au-dessous des plaques par des cloisons en tôle et fonte formant caisson. Le caisson est relié à l'injecteur C (*fig.* 44), situé à l'avant de la façade du générateur, par une caisse en fonte placée sous la plaque d'avant-foyer. Le nombre des tuyères composant l'injecteur varie avec la surface de la grille ; ces tuyères sont fixées sur le couvercle mobile et creux de la boîte. Sur ce couvercle mobile est adapté un tuyau avec bride d'attente pour le raccordement avec la tuyauterie de vapeur D (*fig.* 44), sur laquelle se trouve une valve de réglage ; cette valve règle l'écoulement de la vapeur par l'orifice de sortie des tuyères qui ont de 1mm,5 à 4 millimètres de diamètre chacune, suivant les cas. Ces orifices se trouvent au-dessus de l'ouverture libre de prise d'air, à la partie inférieure de la boîte à tuyères : l'écoulement de la vapeur par les tuyères forme injecteur et projette l'air sous pression dans le caisson.

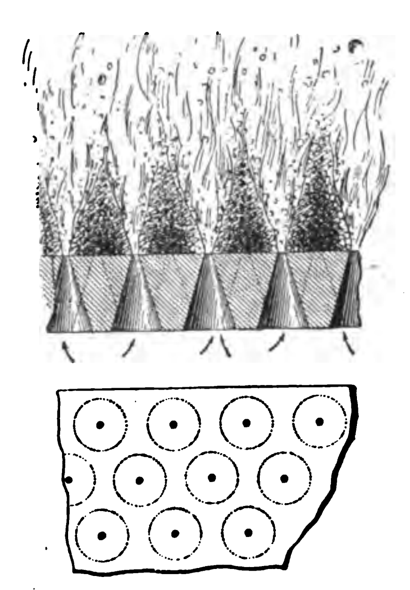


FIG. 43. — Grille Kudlicz.

Ce mélange d'air et de vapeur ne trouve d'issue que par les trous des plaques, pénètre dans la couche de combustible en projetant en l'air les grains de charbon et forme des gerbes de flamme qui

s'épanouissent en éventail sans produire de jet de chalumeau.

La conduite du feu est très facile et se règle avec la valve de la soufflerie, valve qui est à portée de la main du chauffeur. On remonte en pression en augmentant la pression du vent dans le caisson. Le registre ne doit être ouvert que très peu, suffisamment pour que les gaz ne soient pas refoulés par les joints des portes du foyer.

Les cendres qui ne peuvent plus tomber dans le cendrier, puisque le caisson est fermé, sont en partie entraînées par le courant d'air forcé et s'arrêtent immédiatement dans la fosse située derrière l'autel. Il faut, pour des combustibles impurs, avoir des carnaux assez grands et les nettoyer un peu plus souvent qu'avec une grille ordinaire. Les cendres qu'on retire des carnaux sont blanchâtres, très fines, et ne renferment guère de parcelles combustibles, quand le feu est bien conduit.

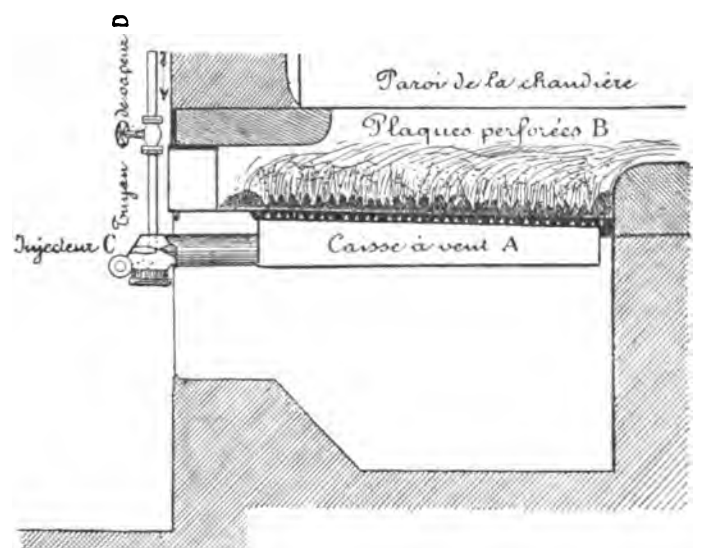


Fig. 44. — Disposition d'un foyer Kudlicz.

L'allumage du feu sur la grille Kudlicz se fait exactement comme sur les autres grilles, c'est-à-dire avec du bois et de la houille en morceaux. Dès que le manomètre marque un demi-kilogramme de pression, on commence à souffler et à brûler du menu maigre ; en serrant le registre, on atteint la pression de marche.

La grille Kudlicz permet de couvrir facilement le feu pour éviter les frais d'allumage. Le registre et le robinet de réglage de vapeur de la soufflerie étant fermés, il est impossible que les poussières maigres, les escarbilles ou les poussières de coke, qu'on brûle sur la grille, ne se rallument dans la nuit. Si le tas de combustible est assez fort, on peut couvrir le feu depuis le samedi soir jusqu'au lundi matin. Le chauffeur arrive alors en même temps que les autres ouvriers ; il ouvre d'abord le registre, nettoie son feu et, pour peu qu'il lui reste

de la pression à la chaudière, il peut mettre en route immédiatement.

Foyer Meldrum. — Dans le foyer Meldrum (*fig.* 45), le tirage s'effectue au moyen d'une vanne qui sert à envoyer par une ou plusieurs tuyères de 3 millimètres d'ouverture des jets de vapeur dont on peut régler l'intensité dans deux tuyaux tronconiques, disposés au-dessous de la grille. Le cendrier est tenu normalement fermé et sa porte ne doit être ouverte que pour l'enlèvement des cendres. La grille est formée de barreaux soigneusement coulés qui ne laissent entre eux qu'un intervalle de 3 millimètres, ce qui permet de brûler des combustibles très menus sans en perdre une quantité appréciable dans le cendrier.

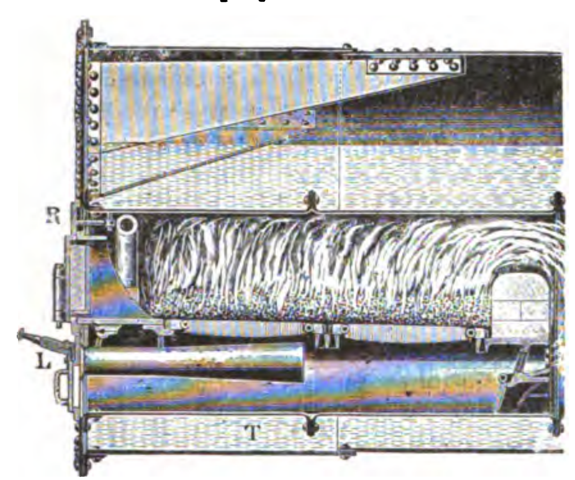


Fig. 45. — Foyer Meldrum.

La forme et l'emplacement des tuyères sont les éléments les plus importants de l'appareil. Ce point a fait l'objet d'expériences délicates de la part des inventeurs, et on ne peut toucher à ces organes sans nuire au fonctionnement de l'appareil. On est arrivé à obtenir un soufflage suffisamment régulier pour qu'il règne dans le foyer une faible pression qui empêche les rentrées d'air froid par les maçonneries; il ne pénètre d'air froid qu'au moment de l'ouverture des portes pour le chargement.

Dans les usines voisines des charbonnages, on peut brûler avec le foyer Meldrum des schistes contenant jusqu'à 60 0/0 de cendres et des déchets qui seraient sans valeur. Dans les centres industriels voisins des charbonnages, on peut réaliser une économie sérieuse en brûlant, par exemple, au lieu de houille à 25 francs la tonne évaporant 8 kilogrammes d'eau par kilogramme de charbon (c'est-à-dire $\frac{25}{8} = 3{,}16$ la tonne de vapeur), un mélange de charbon maigre et de cendres de coke évaporant $6^{kg},5$ d'eau par kilogramme de mélange et coûtant 14 francs, c'est-à-dire que l'on aurait la tonne de vapeur à $\frac{14}{6{,}5} = 2$ fr. 15. Si l'on brûle du charbon à 12 fr. 50 évaporant 8 kilo-

grammes d'eau, on peut le remplacer, en se servant du foyer Meldrum, par un mélange de charbon maigre et de poussier de coke évaporant 7 kilogrammes et coûtant 8 francs, soit une économie supérieure à 25 0/0.

Le foyer Meldrum réalise une bonne combustion des gaz que distille la houille et assure ainsi une fumivorité presque complète. En soufflant l'air à travers la couche de combustible, on provoque un mélange plus intime de l'oxygène et des gaz dégagés par le combustible, précisément là où une haute température favorise leur combinaison dans les proportions correspondant au maximum de la chaleur dégagée.

On peut fermer à peu près le registre, et les gaz, retenus dans la chambre de combustion ou dans les carnaux, n'en sortent qu'après être dépouillés de leur excédent de chaleur au contact des parties de la chaudière qui concourent à la vaporisation. Les tuyères sont calculées pour donner toute la pression nécessaire jusqu'à 150 millimètres d'eau, et même au delà dans des circonstances spéciales; en général, 25 millimètres de pression sont suffisants.

Le montage du foyer Meldrum peut être fait dans un ou deux jours, pendant un arrêt des chaudières de vingt-quatre ou quarante-huit heures. Les frais de réparation de ce foyer sont relativement peu élevés.

Dans des essais faits aux mines de Blanzy, on a évaporé avec le foyer Meldrum, par mètre carré de surface de chauffe et par heure :

Avec les barrés, contenant 44 0/0 de cendres, 20 kilogrammes d'eau;

Avec les schistes, contenant 58 0/0 de cendres, 15 kilogrammes d'eau.

Un foyer Meldrum se conduira de la manière suivante :

Pour allumer le feu et mettre en pression, il faut ôter la porte du cendrier, ouvrir les souffleurs complètement, jusqu'à ce qu'un courant d'air sorte par la porte du cendrier, puis remettre la porte du cendrier. On doit toujours souffler de la vapeur tant que les feux sont allumés, afin de préserver les barreaux de grille. On doit maintenir le soufflage juste à l'intensité voulue pour obtenir la pression désirée et disposer la soupape supérieure pour obtenir le soufflage nécessaire avec le robinet inférieur entièrement ouvert. Il faut éviter de laisser tomber la pression afin de ne pas avoir à forcer trop l'appareil. Si les jets de vapeur se bouchent, on enlève le tampon et on nettoie avec un morceau de fil de fer. Il faut nettoyer le cendrier au moins une fois par jour, tenir l'intérieur des tuyères propre et enlever toutes les cendres qui peuvent s'accumuler sur les tuyères

et sur les côtés du cendrier. Il faut, en général, entretenir un feu plus épais qu'avec le tirage naturel. Il faut décrasser au fur et à mesure qu'il se forme des petits mâchefers, afin d'éviter d'avoir à faire un décrassage à fond. Pour empêcher la fumée, on doit ouvrir la trappe de l'autel avant de charger ou d'activer le feu, mais pas plus que cela n'est absolument nécessaire. Ceci a surtout pour but de brûler les gaz qui se forment lorsque le feu est très épais ou que l'on emploie de l'anthracite.

Foyers à injection combinée de vapeur et de pétrole. — Dans le foyer Scott Elliott, la grille est entourée d'un long serpentin protégé par la maçonnerie dans lequel se surchauffe un mélange de vapeur et d'un peu de pétrole que l'on injecte au-dessus et tout autour du feu par un grand nombre de tuyères. Le pétrole renfermé dans un réservoir à déplacement d'eau est distribué par un compte-gouttes à un injecteur qui reçoit de la chaudière la vapeur préalablement séchée et qui l'envoie au serpentin du foyer.

Avec une chaudière à tubes d'eau Babcock et Wilcox type marin, le rendement a pu être augmenté de 15 à 20 0/0, la vaporisation passant de $9^{kg},44$ à $9^{kg},88$ par kilogramme de combustible. La surface du serpentin était de $18^{m},06$, et on a dépensé en six heures 2 kilogrammes de pétrole et 32 kilogrammes de vapeur. Il est évident que ce dispositif donne un brassage énergique des gaz du foyer.

La British Fuel Economiser C° construit le foyer Marshall également du type à jets de vapeur et de pétrole combinés.

Le foyer F. Zaruba est basé aussi sur l'injection de vapeur et de pétrole admis goutte à goutte.

Injection d'air. — Depuis longtemps déjà, pour brûler les charbons maigres ou les poussiers de vente difficile, on a installé des ventilateurs sous les grilles des foyers. Grâce à l'insufflation d'air, les houilles les plus maigres brûlent très bien, et, en rapprochant les barreaux de grille, on peut brûler les poussiers les plus fins.

La solution est simple, en somme; mais, pour la mettre en pratique, plusieurs précautions sont à observer.

Il ne faut pas que l'air soit introduit d'une manière brutale sous la grille, car les parties de cette grille les moins chargées de houille laisseraient passer tout l'air, qui, par contre, ne viendrait pas dans les parties où la houille est en surépaisseur ou agglomérée.

Il faut craindre aussi de réaliser des jets de chalumeau qui brûlent rapidement les tôles, ou de produire des refroidissements et des inégalités de combustion d'un point à un autre de la grille.

Foyer Neuerburg. — M. Neuerburg, ingénieur allemand, a résolu le problème d'une façon très simple et réellement pratique. Sous la grille, il dispose un faisceau de tuyaux de fer d'environ 5 centimètres de diamètre et espacés d'environ 15 centimètres ; ces tubes débouchent tous d'une caisse distributrice placée au fond du cendrier. Sur le devant, ils sont fermés par un bouchon taraudé ou une soupape. Sur la moitié supérieure de ces tuyaux, sont percés, suivant quatre lignes longitudinales, des trous de 3 millimètres de diamètre ; la section totale de ces trous est d'environ un quarantième de la surface de la grille. L'air, envoyé dans la caisse distributrice du fond par un ventilateur quelconque, se répand uniformément dans les tubes où il arrive avec une pression d'à peine 2 centimètres d'eau, 4 centimètres au plus.

Chaque jet d'air infiniment petit vient lécher un barreau, et l'air se diffuse ainsi sur toute la surface de la grille. Les coups de chalumeau sont impossibles, la combustion est uniforme sur toute l'étendue de la grille. Les barreaux restent froids.

On réglera par une valve la pression de l'air, selon le charbon à brûler et selon la quantité de vapeur à produire. Le cendrier n'est pas fermé. Le registre de tirage sera presque complètement serré. La chaleur est ainsi concentrée dans le foyer, de sorte que non seulement on peut brûler les combustibles maigres, mais qu'on peut encore obtenir une économie de 10 à 20 0/0 avec une houille ordinaire.

Foyer Vicar. — Dans le foyer Vicar, l'air amené par des jets de peur est envoyé par des tuyères à l'arrière de la grille, au point où e charbon est encore froid et compact. Un pignon permet de régler la position du point d'injection suivant l'allure du feu.

On peut aussi, dans un autre dispositif du même foyer, opérer ce réglage par l'inclinaison des tuyères d'arrivée d'air.

Il existe un type de grille mécanique Vicar à secousses avec vent forcé. Le combustible achève de se brûler sur une grille postérieure auxiliaire à barreaux fixes et mobiles commandés au moyen d'un renvoi à coudes. Dans un autre dispositif, les grilles sont fixes et celle d'arrière est inclinée de manière que les scories tombent dans le cendrier d'une manière uniforme et sans laisser de trous dans le feu. Un tuyau perforé amène les jets de vapeur destinés à activer la combustion.

Foyer Mac-Cornick. — Dans la grille Mac Cornick du type automatique à vis, le charbon tombe d'une trémie sur une vis commandée par une roue hélicoïdale à embrayage. Cette vis pousse le charbon

sur le fond d'un bac doué d'un mouvement alternatif de montée et de descente. La forme trapézoïdale du bac fait que, lorsque le fond du bac descend, le charbon ne suit pas ce fond et laisse un certain vide où pénètre l'air comprimé injecté par des tuyères. Pour les charbons fins, le fond du bac est constitué par une caisse percée de trous par où passe l'air injecté. Les tuyères qui diffusent cet air sont disposées de manière à pouvoir être facilement remplacées en enlevant leurs attaches ; elles sont maintenues en alignement par des fiches.

Foyers divers. — Le foyer à vent forcé avec injection de vapeur de Dixon et Howe comporte une aspiration d'air au travers de barreaux creux; cet air refroidit les barreaux et se mélange déjà chaud aux gaz du foyer.

Dans la grille Wiedenbruck et Wilms, l'air refoulé par un tuyau dans une boîte transversale placée au centre de la grille arrive sous une pression de 60 à 70 millimètres d'eau ; il traverse les barreaux creux et en sort échauffé par des orifices tangentiels sous une pression de 25 à 30 millimètres ; il se diffuse entre les barreaux sous une pression de 2 millimètres environ.

Foyer Marcy Vétillard. — L'appareil se compose d'éjecteurs dans lesquels la vapeur s'écoule suivant une couronne d'une surface très réduite, en créant une dépression importante dans une tuyère centrale. L'air extérieur se trouve ainsi aspiré par cette tuyère et pénètre dans l'appareil avec une vitesse considérable. Grâce à l'action d'un deuxième aspirateur comportant un ajutage convergent, suivi d'une partie divergente, le mélange d'air et de vapeur réalisé dans la tuyère centrale produit un vide relatif qui a pour effet de provoquer l'aspiration d'un nouveau volume d'air par les ouïes extérieures ménagées dans le corps de l'appareil.

Des ajutages cylindro-coniques disposés sur la paroi du cendrier dans l'axe des éjecteurs reçoivent le mélange d'air et de vapeur, et ce mélange, en se détendant, crée une nouvelle aspiration extérieure, qui augmente sensiblement le débit, tout en diminuant la vitesse de la rentrée de l'air dans le cendrier.

Au moyen d'écrous de réglage, on peut avancer ou reculer la tuyère centrale de l'éjecteur, afin de modifier la section de passage de la vapeur par la couronne ; on peut ainsi faire varier à volonté la vitesse du mélange à la sortie de l'éjecteur double. On arrive à régler très exactement le volume d'air introduit dans le cendrier. On peut brûler de la sorte des combustibles très pauvres, tels que les escarbilles provenant des boîtes à fumée de locomotives tout en évitant l'entraînement de parcelles de combustible dans les carnaux.

Le foyer Foley à vent forcé comporte des grilles à barreaux creux de 0m,90 à 1m,20 de long, percés de trous de 4 à 5 millimètres par où se fait un appel d'air. Ces grilles, qui résistent bien au feu, ont une intensité de combustion de 40 kilogrammes par mètre carré de grille et par heure avec une pression de vent de 35 millimètres. Avec une pression de 80 millimètres on peut brûler de 260 à 350 kilogrammes de combustible.

Foyers Michel Perret. — M. Michel Perret a combiné différentes dispositions de foyers pour brûler les poussiers de coke ou de charbon maigre, les fraisils de forge et, en général, tous les résidus ordinaires des foyers industriels. Le foyer à étages Perret se compose de quatre ou cinq dalles en terre réfractaire, légèrement cintrées pour leur donner plus de résistance et disposées pour étaler le combustible. Sur la face du foyer sont des ouvertures pour le chargement et l'étalage du combustible aux divers étages. Ces étages communiquent entre eux tantôt à l'arrière, tantôt à l'avant; l'air pénètre à l'étage inférieur et passe successivement, en effectuant la combustion, à la surface du poussier chargé sur les dalles superposées. Le combustible de la dalle supérieure est poussé, à mesure que la combustion avance, successivement avec un ringard sur chacune des dalles inférieures. La grille placée au bas ne sert que pour l'allumage.

Afin d'éviter le travail de ringardage nécessaire pour faire descendre successivement le combustible, M. Perret a remplacé les dalles par un certain nombre de prismes triangulaires, laissant entre eux des intervalles alternés, les pleins au-dessous des vides. Le combustible coule naturellement sur les plans inclinés, au fur et à mesure de la combustion qui s'alimente par l'air passant dans les espaces vides au-dessous des prismes. Le service de l'appareil est ainsi rendu beaucoup plus facile.

Grilles immergées système Michel Perret. — Ce sont des grilles à barreaux très serrés et de très grande hauteur, dont la partie inférieure est plongée dans l'eau d'une bâche pour être refroidie. On compte ainsi éviter l'altération par échauffement des barreaux et l'engorgement de la grille. L'air nécessaire à la combustion pénètre latéralement. Il vient d'un ventilateur qui doit être un appareil d'environ 8 chevaux pour brûler 250 kilogrammes de charbon à l'heure. Les feux sont blancs et ont une ardeur considérable.

On a appliqué des grilles immergées et soufflées dans l'Isère à la

combustion des poussières d'anthracite. La grille avait 2 mètres de largeur sur 1 mètre de longueur, soit une surface de 2 mètres carrés.

Des essais faits avec cette grille ont donné les résultats suivants :

4/5 poussière d'anthracite		768 kilogrammes.
1/5 houille très menue		192 —
Combustible total		960 —
Scories et déchets de grille		215 —
Combustible pur		745 —
Scories et déchets de grille		22 0/0
Eau vaporisée ramenée à 0°, totale		4.950 kilogrammes.
— par kilogramme de combustible brut.		5kg,15
— — — pur..		6kg,65
Combustible brûlé par heure		205 kilogrammes.
Combustible brûlé par heure et mètre carré de	surface de chauffe..	3kg,106
	surface de grille....	103 kilogrammes.

La pression du vent pendant la durée de l'essai a été de 20 millimètres d'eau. Le foyer était soufflé par un appareil Kœrting pour lequel une locomobile fournissait la vapeur nécessaire; on a consommé 60 kilogrammes de vapeur pour 100 kilogrammes de combustible brûlé.

Les divers appareils que nous venons d'examiner s'appliquent surtout à la combustion des houilles très menues. On peut, dans des foyers, brûler des combustibles plus menus encore. Ce sont les foyers à poussier.

Foyers a poussier. — Le poussier de houille peut être brûlé à l'état impalpable et remplacer au besoin le charbon dans un foyer convenablement organisé. Le principe du mode de chauffage est le suivant :

Si, dans une chambre préalablement chauffée, on introduit un mélange déterminé d'air et de poussier de charbon, l'air contenant assez de molécules d'oxygène pour brûler le carbone du poussier, il se produira une inflammation de ce poussier. La combustion est d'autant plus complète et plus rapide que le charbon est à l'état plus tenu et peut, par conséquent, mieux se diffuser dans l'atmosphère ambiante.

La quantité d'air doit être parfaitement calculée. Un excès refroidit la masse et peut entraver l'allumage. Une proportion insuffisante ne permettra pas une combustion complète du poussier, qui se transformera partiellement en coke.

Si les quantités sont bien exactes et mathématiquement calculées, la combustion sera parfaite, et il n'y aura aucune fumée. C'est un avantage que la pratique vérifie entièrement.

Appareils de broyage. — Il faut donc réduire le charbon à l'état de poussière impalpable. On broie en général des grains, dont la grosseur est inférieure à 40 millimètres. Au-delà de cette grosseur le broyage serait plus coûteux. Il n'aurait, d'ailleurs, aucune raison d'être, puisque les charbons de cette dimension, quand ils sont purgés de fines, peuvent être vendus à un prix rémunérateur sous la dénomination de gailletins, de noisettes ou de têtes de moineaux.

Les appareils de broyage employés sont des moulins à boulets ou des broyeurs à cylindres.

Le broyeur Propfe donne un produit moulu à un degré très élevé de finesse; alimenté par des morceaux dont la grosseur ne dépasse pas 40 millimètres, il peut livrer, d'après les essais faits par l'Association pour la surveillance des chaudières à vapeur, environ 1.500 kilogrammes de poussier par heure avec 12 chevaux-vapeur. Il se compose d'une première série de rouleaux à force centrifuge, d'où le charbon tombe dans un tamis circulaire avec ventilateur qui en sépare la poudre; les grains passent ensuite à une seconde série de rouleaux qui achèvent de broyer tout le charbon. L'usure est faible et le rendement très bon; la durée des tamis est de deux à trois semaines. Les frais sont de 12 à 19 centimes par kilogramme suivant la nature du charbon. Un broyeur fournit d'autant plus de poussier que le charbon est plus sec.

Dans l'appareil Cyclone le charbon est broyé entre les bras d'une étoile animée d'une rotation très rapide et entre les cannelures de l'enveloppe en fonte. Les bras ont une vitesse tangentielle de 100 mètres par minute. Le poussier de charbon ainsi produit est aspiré par un ventilateur placé en haut de l'enveloppe, de sorte que les parties les plus fines seules arrivent au ventilateur; les autres retombent au pulvérisateur. De là le courant d'air chargé de ces poussiers passe dans un séparateur où il dépose son charbon dans une trémie, puis il revient dans l'enveloppe du pulvérisateur; le broyage coûte 1 franc par tonne.

L'Aero Pulverizer C° emploie le pulvérisateur Borger dans lequel on opère d'un seul coup la pulvérisation et le flottage du poussier de charbon; ce poussier est assez fin pour qu'il en passe 90 0/0 au tamis de 100 mailles, mais, pour que la pulvérisation s'effectue économi-

quement, il faut que l'humidité du charbon ne dépasse pas 10 0/0

Le pulvérisateur Borger se compose de 4 roues tournant dans un tambour en fonte ; la première reçoit d'une trémie le charbon en morceaux d'environ 35 millimètres de côté, et commence le broyage, qui est terminé par les deux roues suivantes, dont le diamètre va en croissant. Le poussier arrive ensuite à la quatrième roue, qui agit comme un ventilateur et refoule ce poussier mélangé d'air au travers d'un orifice placé sous la roue. Le ventilateur aspire son air par un espace annulaire qui le sépare de la troisième roue broyeuse et qui est pourvu d'un registre permettant d'en régler le débit. Un appareil pulvérisant environ 250 kilogrammes de charbon par heure absorbe 12 chevaux.

Le charbon à broyer peut contenir 3 à 5 0/0 d'humidité en moyenne ; mais le broyage s'exécute encore dans de bonnes conditions, lorsque la quantité d'humidité est plus grande.

Ce qu'il importe surtout de réaliser, c'est la ténuité du poussier. Celui-ci devra traverser un tamis de 7 mailles par millimètre carré. Il se trouve de la sorte être assez léger pour rester en suspension dans l'air.

Le prix de revient de ce broyage dépend, bien entendu, de la nature des charbons. Dans des expériences effectuées en Allemagne on a reconnu que le prix de revient oscille entre 60 centimes et 1 fr. 20 par tonne de charbon, pour une production de 300 kilogrammes par heure et par appareil. L'amortissement du prix d'achat d'un broyeur porte d'ailleurs sur une somme de 1.125 francs.

Transport à distance. — Les appareils de broyage sont voisins, en général, des appareils de chauffage, et la transformation en poussier s'est opérée sur place dans les applications qui ont été faites jusqu'ici. On pourrait pourtant avoir une installation centrale de broyage et distribuer le poussier dans un centre industriel par des conduites rayonnant dans toutes les directions, comme on distribue l'eau et le gaz dans une ville.

Le principe consiste à mélanger d'eau le poussier et à former une pâte qui sera aspirée, puis refoulée par une pompe. Le mélange est des plus faciles, et s'effectue naturellement dans tous les lavoirs à charbon, où il produit les schlamms. La densité du poussier est, en effet, très voisine de celle de l'eau. Elle diminue assez sapidement avec l'état de ténuité de la houille, comme l'indiquent les chiffres suivants :

NATURE DES CHARBONS	DENSITÉ	
	A L'ÉTAT DE GRAINS	A L'ÉTAT DE POUSSIER
Anthracite........................	1,6 à 1,4	0,8 à 0,9
Charbon bitumineux...............	1,2 à 1,3	0,7 à 0,8

L'addition d'eau a, en outre, l'avantage de laver les charbons et d'éliminer les impuretés, le soufre, l'acide sulfurique, les schistes. Ce lavage sommaire et préparatoire ne coûte pas plus de 25 centimes par tonne.

On pompe donc le mélange d'eau et de poussier, on le refoule dans une conduite, aussi loin qu'il est nécessaire, et on le fait arriver dans des bassins de clarification et d'évaporation, où une proportion de 10 à 20 0/0 d'eau peut être éliminée. Un séchage plus énergique dans une étuve éliminera une plus grande quantité d'humidité, si c'est nécessaire.

Le transport du poussier s'effectuerait ainsi à de grandes distances. Avec une conduite de 60 centimètres de diamètre, on pourrait envoyer à 8 kilomètres une quantité de 31.000 tonnes par vingt-quatre heures. On a fait des expériences dans lesquelles le diamètre des conduites variait. Sur une distance de 48 kilomètres, avec une pression de 84 kilogrammes par centimètre carré, on a obtenu les débits suivants :

Diamètre des tuyaux en centimètres	10	20	30	45	60
Débit en tonnes par 24 heures......	320	1824	5120	13730	28160

D'ailleurs, sans même réaliser ce transport à grande distance par des tuyaux, dont l'installation serait coûteuse, on pourrait songer à transporter les schlamms après évaporation dans les bassins, ou même après séchage. Ce séchage est suffisant quand les poussiers ne contiennent plus que 20 ou 40 0/0 d'humidité, les appareils pouvant les brûler dans cet état. Le poids mort transporté est donc peu considérable. Il peut diminuer d'ailleurs si l'on fait varier la quantité d'eau et si l'on n'additionne le poussier que de 10 à 20 0/0 d'eau avant l'aspiration par les pompes. On compense largement, même avec ce poids mort d'humidité, les vides et la place perdue dans les wagons, et surtout dans la cale des navires, par l'empilage des blocs de houille, d'un diamètre absolument variable et encombrant.

Les usines pourraient donc recevoir leur provision sans faire la transformation sur place, et des stocks assez grands seraient accumulés sans crainte d'inflammation spontanée, puisque les menus contiennent de l'eau. Les navires emporteraient enfin, sous le même volume, une charge beaucoup plus grande.

Principes de la combustion. — Trois principes fondamentaux jouent un rôle dans l'emploi du charbon pulvérisé comme combustible.

1° La chambre de combustion doit toujours être maintenue à une température élevée;

2° Le combustible pulvérulent doit être introduit au centre du courant d'air qui lui sert de véhicule, et ce courant ne doit jamais être interrompu;

3° Les particules de charbon doivent rester en suspension dans l'air jusqu'à leur combustion complète.

Cette dernière condition est d'une importance capitale, parce que, si une partie de la poudre de charbon s'échappe du courant gazeux et tombe au fond de la chambre de combustion, elle se transforme en coke, au lieu d'éprouver une combustion complète.

La première des conditions nécessite des dispositions spéciales, lorsqu'on emploie des chaudières à foyer intérieur, pour éviter que le voisinage des parois à une température relativement basse n'empêche la combustion complète du combustible en poudre. Il faut, dans ce cas, revêtir l'intérieur du foyer avec des briques qui, prenant une température élevée, empêchent le refroidissement de la flamme et jouent le rôle de volant de chaleur. La présence de ces briques n'entraîne aucune perte de chaleur; elles servent d'intermédiaires pour transmettre le calorique à la surface de chauffe effective.

La seconde condition exige, pour être remplie, une disposition convenable des appareils, et c'est surtout dans cette direction que s'est exercée l'ingéniosité des inventeurs.

La troisième condition dépend surtout du degré de finesse de la poudre de charbon, et c'est le coût de la préparation de cette poudre qui limite en pratique et au point de vue commercial l'emploi de ce système de chauffage.

Historique. — En 1831, Henschel, de Cassel, employait un courant d'air chargé de poussière de charbon pour le chauffage de fours à briques, pour le soudage et autres opérations faites sur les métaux. Putsch, en Angleterre, tenta d'employer le chauffage au poussier pour la fabrication du verre.

Les premiers appareils étaient à tirage forcé. On insufflait de l'air qui entraînait les poussiers dans la chambre de combustion. Tel est le principe des appareils imaginés par Mac Auley, de Denver (Colorado), en 1881, Hathaway, de Boston (Massachusetts), en 1886, et Neubart, de Charlottenburg (Autriche), en 1893. Ces appareils n'ont pas fait l'objet d'applications pratiques.

M. Crampton, en Angleterre, a fait, de 1868 à 1873, une série d'essais sur la houille pulvérisée, qu'il réussit à brûler dans des fours métallurgiques et même sous des chaudières, en employant de l'air soufflé par un ventilateur pour activer la combustion. Il est aussi l'inventeur d'un appareil fort ingénieux pour introduire la houille pulvérisée dans les foyers. Le combustible était réduit en une poudre fine, dont les parcelles avaient un demi-millimètre de diamètre.

C'est surtout en Allemagne que des essais nombreux ont été faits pour brûler le poussier de houille.

Appareil Wegener. — Le premier appareil imaginé en Allemagne, dans ces dernières années, est celui de M. Wegener, dont le brevet a été pris en 1891. L'appareil se compose essentiellement (*fig.* 46) d'un réservoir vertical, où les poussiers sont distribués par un cylindre cannelé. L'entrée de ces poussiers dans la chambre de combustion a lieu directement, ou, mieux, est facilitée par une arrivée de vapeur ou d'air comprimé, et quelquefois par une injection simultanée des deux éléments.

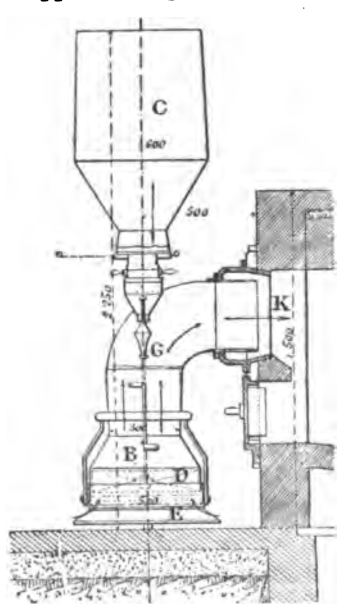


Fig. 46. — Appareil Wegener.

Diverses modifications ont été faites à ce premier projet. La dernière consiste à tamiser les poussiers à travers une grille, et à admettre, en sens inverse, un courant d'air produit par un ventilateur horizontal qui tourne de manière à introduire dans la chambre de combustion 5 kilogrammes de poussier par minute.

C'est sous cette dernière forme que l'appareil a été expérimenté à

Berlin. Il a pu vaporiser 24 kilogrammes d'eau par mètre carré de surface de chauffe et réaliser une économie de 25 à 30 0/0 sur la consommation antérieure du combustible.

L'appareil Wegener actuel comporte, à sa partie supérieure, un entonnoir dans lequel on place les sacs de houille pulvérisée; les sacs pèsent 25 kilogrammes environ. La houille tombe sur un petit tamis circulaire ayant 130 millimètres de diamètre. L'air pénètre en dessous par un grand tuyau en tôle ayant un diamètre de 500 millimètres et passe dans le foyer en se mêlant à la houille pulvérisée qui tombe de l'entonnoir. Pour éviter que le tamis ne s'obstrue, on l'agite constamment au moyen du dispositif suivant : à la partie inférieure du tuyau de rentrée d'air se trouve une turbine munie de trois petites cames. L'appel d'air à travers les aubes de cette turbine la fait tourner à grande vitesse, et le tamis reçoit de 150 à 250 chocs par minute. Ce mouvement détermine l'introduction de la houille pulvérisée dans l'air servant à la combustion, auquel elle se mélange intimement avant de passer dans le foyer. Le rôle du chauffeur se borne à verser des sacs de houille pulvérisée dans l'entonnoir de temps en temps, et à s'assurer que l'air entre en quantité suffisante pour la combustion. Si l'admission d'air par l'ouverture principale est trop faible, ce que l'on voit dès qu'il se produit de la fumée, on augmente l'arrivée d'air au moyen de deux tuyaux en tôle disposés à cet effet; la quantité d'air nécessaire varie avec la qualité de houille que l'on emploie. On règle le nombre de secousses du tamis, c'est-à-dire la quantité de houille qu'on introduit dans le foyer au moyen d'une vis qui agit sur la turbine. La houille pulvérisée s'enflamme dès qu'elle pénètre dans la région du foyer garni de briques réfractaires. Un seul chauffeur peut assurer le service de plusieurs chaudières.

Appareil Friedeberg. — Le brevet de l'appareil de M. Friedeberg remonte à l'année 1893; toutefois les applications du foyer ne semblent pas jusqu'ici des plus nombreuses.

Le poussier est chargé dans une trémie (*fig.* 47). L'air arrive par un tuyau latéral et passe directement dans un autre tuyau branché sur le premier, ou bien monte pour venir agir sur le poussier dans la trémie. Il chasse le poussier dans un canal. Puis le mélange se rend, par un tuyau, jusqu'à l'orifice d'introduction, dans la chambre de combustion et rencontre, un peu avant cet orifice, la seconde partie du courant d'air dont un registre permet de régler la quantité.

Une ouverture ménagée à la partie inférieure du tuyau qui mène à l'orifice d'introduction, sert à enlever les impuretés entraînées par le mélange d'air et de poussier.

Avec l'appareil ainsi disposé, on peut obtenir des températures de 1.450° sans chauffer l'air, et, si l'on fait usage d'air chaud, on arrive à des dégagements de chaleur analogues à ceux qu'on obtient dans les gazogènes. Des expériences, qui ont pleinement réussi, ont

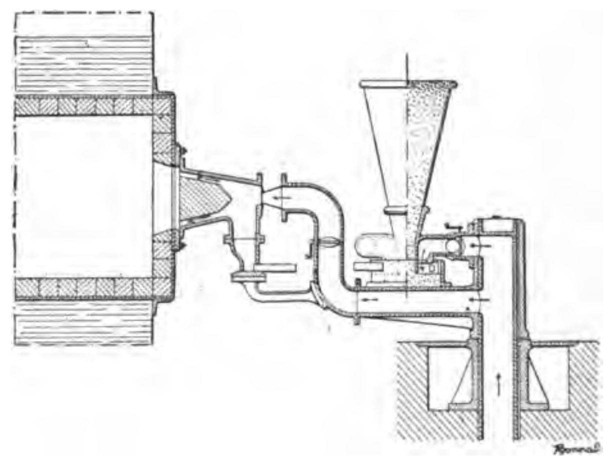


Fig. 47. — Appareil Friedeberg.

d'ailleurs été faites pour chauffer des fours à creuset ou même des fours à fusion d'acier.

Appareil Schwarzkopf. — Nous décrirons avec plus de détails l'appareil pour la combustion du poussier imaginé par M. Schwarzkopf.

L'appareil (*fig.* 48) se compose essentiellement d'une trémie *a*, où sera chargé le poussier. Cette trémie est fermée à sa partie inférieure par deux plaques d'acier *c* et *d* formant ressort. La plaque *c* est tendue plus ou moins fortement par la vis *b*. La plaque *d* ne supporte pas directement le poids du poussier, et est allégée de ce poids par une plaque *e*. Elle est munie, à son extrémité, d'un cran *h*, sur lequel viendra frapper le marteau *g* de la roue distributrice *f*. Le marteau *g*, en frappant le point *h*, écarte la plaque *d* de sa position ; une certaine quantité de poussier passera. Ce poussier pénètre dans la chambre de combustion *k*, avec le courant d'air qui entre par les orifices *l*, *m*, *n*, sous l'action de la dépression créée par la cheminée.

Avec cette disposition, on peut régler très facilement les quantités d'air et de poussier et obtenir des proportions convenables, ce qui est le point important, comme on l'a vu. A l'aide de la vis *b*, il est possible d'écarter plus ou moins la plaque *c* et de réaliser un passage bien déterminé du poussier. L'admission d'air est réglée par un registre *o*.

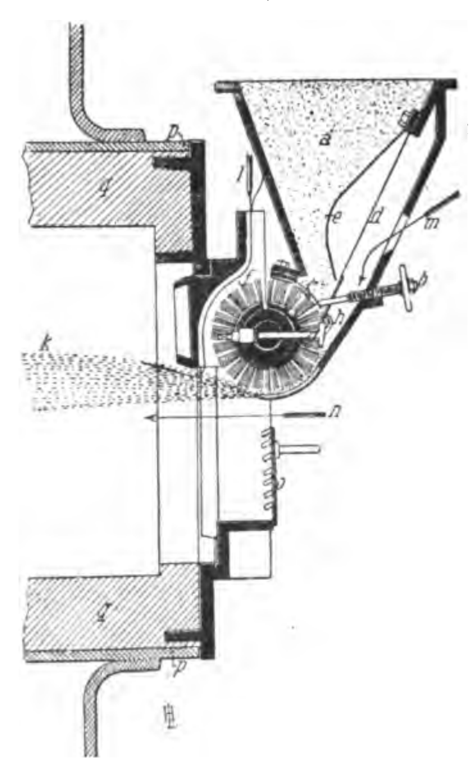


FIG. 48. — Appareil Schwarzkopf.

Pour opérer la mise en route, il faut chauffer les parois de la chambre de combustion. On allume, à cet effet, un feu de bois, ou bien on enflamme du pétrole. Après cinq minutes de chauffage, le poussier entre en ignition. Dans les usines, où les appareils de vapeur chôment le dimanche, l'opération sera donc des plus facile et des plus prompte pour la mise en route du lundi matin.

Si le travail est, en outre, interrompu pendant la nuit, il ne sera pas nécessaire d'opérer un rallumage avec un foyer spécial. Les pertes de chaleur auront été, en général, assez faibles, et le poussier se rallumera par la simple mise en route de la roue distributrice.

On pourra donc arrêter la combustion d'une chaudière comme on arrête la machine et les transmissions d'un atelier, à l'heure des repas, par exemple.

Pour la mise en route chaque matin, on utilisera la vapeur qui peut rester dans la chaudière à la fin de la nuit, ou bien on aura un moteur à pétrole spécial, ou même, enfin, le chauffeur agira lui-même sur le volant, la force nécessaire à la marche de la roue distributrice étant une fraction de cheval assez faible, $\frac{1}{10}$ environ.

Des expériences assez nombreuses ont été faites pour vérifier l'efficacité de l'appareil de M. Schwarzkopf.

Dans une première série d'expériences, on opéra avec trois chambres de combustion placées sous une chaudière. Une cheminée en fer produisait le tirage et avait une hauteur de 16m,50 pour une section de 28 décimètres carrés.

Les résultats des expériences furent les suivants :

	1re EXPÉRIENCE	2e EXPÉRIENCE	3e EXPÉRIENCE
Pression de vapeur	5kg,20	5kg,20	5kg,20
Teneur en acide carbonique à la sortie de la première chambre de combustion	17,2 0/0	18,1 0/0	15,6 0/0
Teneur en acide carbonique à la sortie de la troisième chambre de combustion	15,1 0/0	16,1 0/0	13,65 0/0
Quantité d'oxyde de carbone à la sortie de cette même chambre	néant	néant	néant
Tours de la roue distributrice	700	700	960
Dépense d'air rapportée à la quantité théorique	1,09	1,04	1,21
Température des gaz au bas de la cheminée	531°	522°	478°
Quantité d'eau vaporisée par kilogramme de charbon	9kg,54	10kg,35	5kg,92
Effet utile	83 0/0	83 0/0	75 0/0

On a pu recueillir ainsi quelques données intéressantes sur les consommations. On a constaté que les flammes attaquaient et corrodaient moins énergiquement les tôles des chaudières. On a reconnu que les organes de l'appareil s'usaient fort peu. Les ailes de la roue distributrice, qui sont construites en acier, n'éprouvent aucun choc de la part des poussiers qui sont impalpables, et une diminution de quelques millimètres sur la longueur peut seule être constatée après un an de service. Le marteau *g* et le butoir *h* s'usent assez vite, mais ces organes coûtent très peu à remplacer.

Les prix d'achat ou d'installation sont d'ailleurs les suivants :

Pour un appareil avec roue distributrice de 200 millimètres de diamètre, pouvant débiter par heure 115 kilogrammes de charbon ou 150 kilogrammes de lignite, on payera 1.250 francs. Dans ce prix, ne sont pas comprises les dépenses pour transmission, plaques de fixation des appareils, maçonnerie des chambres, etc.

Un appareil avec roue de 400 millimètres, pouvant distribuer par

heure 230 kilogrammes de charbon ou 300 kilogrammes de lignite coûte 1.875 francs.

La transmission reviendra à 125 francs environ. Enfin une chambre de combustion de 2 mètres à 2m,50 de longueur nécessitera une dépense de 900 francs.

Appareil Baumert et Wegmer. — Dans ce foyer la combustion du charbon en poudre est provoquée par un courant d'air très vif produit au moyen d'un ventilateur de forge, l'appel de l'air par une cheminée à fort tirage ne paraissant pas suffisant.

Le brûleur consiste en un vase à parois métalliques garnies intérieurement de produits réfractaires affectant la forme cylindrique ou la forme d'une poire.

La partie antérieure du brûleur qui est ouverte est construite de manière à pouvoir être engagée dans la porte du foyer, si l'on a affaire à une chaudière cylindrique ordinaire, ou dans le tube, s'il s'agit d'une chaudière à foyer intérieur.

A la partie postérieure, le brûleur est surmonté de la trémie de charbon pulvérisé et sur le couvercle plat qui le limite extérieurement s'adapte le tuyau d'arrivée d'air.

On chauffe d'abord le brûleur, puis on admet le poussier de charbon que le courant d'air entraîne dans le milieu incandescent.

Le charbon brûle en suspension et produit une chaleur blanche. Les gaz chauds, en atteignant les carnaux de la chaudière, se détendent; leur température baisse de ce chef et de celui de l'absorption rapide de la chaleur par les surfaces en contact.

La chute du charbon fin est réglée mécaniquement par un petit appareil distributeur qui emprunte son mouvement au courant d'air introduit dans le brûleur. L'admission du charbon et celle de l'air peuvent être réglées à volonté.

Dans des expériences faites près de Berlin, on aurait constaté une économie considérable dans l'emploi du combustible et une réduction des frais de chauffage.

Appareil Rühl. — La figure 49 représente un foyer Rühl, appliqué à un couple de chaudières à foyers intérieurs de $58^{m^2},6$ de surface de chauffe, les tubes-foyers ayant 700 millimètres de diamètre et 3 mètres de longueur. Ces tubes sont recouverts sur toute leur longueur d'une couche de matériaux réfractaires, le foyer proprement dit étant limité à la manière ordinaire par un autel, mais la grille

étant remplacée par une sole pleine, recouverte également de briques réfractaires.

La porte du foyer est munie d'un conduit pour l'arrivée d'air, dont on peut régler l'ouverture au moyen d'un registre manœuvré à l'aide d'un levier. Au-dessous de ce conduit principal sont ménagés un certain nombre d'évents plus petits, dont on peut également régler l'ouverture à volonté. L'air amené dans le foyer par ces évents, outre qu'il active la combustion, a surtout pour effet de refroidir le bouclier qui abrite la porte et l'empêche de rougir.

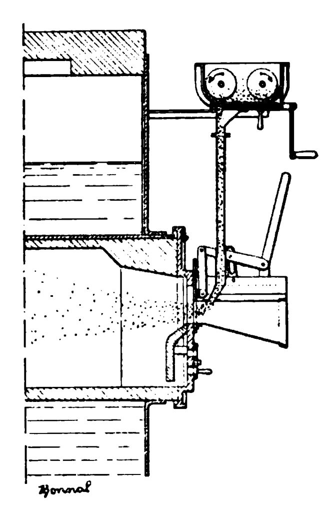


Fig. 49. — Appareil Rühl.

Le charbon pulvérisé est amené par une vis sans fin dans une trémie placée à la partie supérieure de l'appareil et tombe de là, par des tuyaux dans le conduit d'amenée d'air.

Pour obtenir l'alimentation continue de la trémie de chargement et pour éviter l'engorgement pouvant provenir d'un débit trop grand de la vis dans les moments où l'on a intérêt à diminuer la charge du foyer, l'appareil est muni d'une seconde vis sans fin commandée par la première et tournant en sens contraire, laquelle ramène, par conséquent, au point de départ l'excès de charbon non tombé dans les canaux débouchant dans le conduit d'amenée d'air, par suite de leur obstruction partielle à l'aide d'un registre de réglage actionné par une manivelle.

En même temps, comme l'élévateur qui alimente la vis de chargement continue également à amener toujours la même quantité de charbon, l'auge du transporteur est munie d'un tuyau de retour par lequel l'excédent de charbon retombe dans la fosse de l'élévateur. La seule précaution à prendre pour obtenir une alimentation régulière du foyer est de remplir de temps à autre cette fosse ; le chauffeur n'a pas besoin de se préoccuper de l'excédent de débit du transporteur, puisque cet excédent est ramené automatiquement à son point de départ.

Les divers appareils mécaniques sont animés d'un mouvement uniforme produit par une transmission quelconque ou par un électromoteur.

La mise en feu de l'appareil est très simple et se fait au moyen de bois. Dès que le bois est en pleine ignition, on fait arriver de la poudre de charbon qui prend feu aussitôt. Les parois réfractaires sont très rapidement portées à une température suffisante pour amener l'inflammation spontanée de la poudre de charbon, au fur et à mesure de son introduction. Cette température est telle qu'après un arrêt de plus d'une heure on peut remettre l'appareil en marche en projetant simplement dans le foyer une poignée de copeaux ou de papier.

Appareils divers. — On a breveté une grande quantité d'appareils basés sur le même principe et destinés à brûler le poussier de charbon.

Nous citerons entre autres le foyer Freitag essayé en Hollande.

Dans le bassin de la Saar, on emploie le chauffage à pulvérisation d'eau inventé par MM. Bechem et Post de Hagen.

On projette sous la grille du foyer, au moyen d'un appareil spécial, de l'eau pulvérisée mélangée à de l'air sous pression. Il se produit un brassage énergique des couches inférieures du combustible et une très grande élévation de la température, qui a pour résultat de produire la combustion parfaite des couches supérieures du charbon. L'eau de condensation s'écoule dans un bac d'alimentation.

Les prix de revient de cet appareil ont été trouvés les suivants pour six mois d'essai. Avec le chauffage ordinaire, la tonne de vapeur revenait à environ 2 francs alors qu'avec le nouveau chauffage ce prix est tombé à 1 fr. 35, le poussier étant évalué à 2 fr. 50. Dans les exploitations minières où les poussiers valent environ 0 fr. 60 la tonne, l'économie serait encore plus grande.

Le système Westlake, de Brooklyn (*fig.* 50), consiste, en principe, dans l'emploi d'une trémie où est introduit le charbon en poudre par un tambour placé au fond de la trémie. Le tambour est muni de saillies qui projettent le charbon pulvérulent par de petites ouvertures sur le devant de la grille ; la poussière combustible est alors entraînée dans le foyer par le tirage même. Le système est mû par une petite machine à vapeur qui agit sur le tambour par l'intermédiaire d'un cliquet et d'une roue à rochet. La marche n'est pas continue et ne se produit que lorsque la pression de la vapeur tombe au-dessous de la pression normale, elle cesse dès que celle-ci est dépassée. Cet effet est réalisé simplement par un régulateur de pression déplaçant un levier qui laisse ou non engager le cliquet dans les dents de la roue à rochet.

Le tableau suivant donne le résultat d'essais faits avec le foyer Westlake. Le poussier de charbon employé contenait 1,16 0/0 d'eau, 29,83 0/0 des matières volatiles, 54,03 0/0 de carbone fixe, 14,98 0/0 de cendres.

	N° 1	N° 2	N° 3
	kg.	kg.	kg.
Poids du charbon en poudre	260	175	219
— ordinaire	167	283	303
Poids total du combustible	427	458	522
— d'eau vaporisée	3.647	3.647	3.330
Eau vaporisée par kilog. de combustible	8,54	7,96	6,37
Eau vaporisée par kilog. de combustible en vapeur à 100° avec de l'eau à 100°	10,2	9,48	7,58
Poids de charbon pur brûlé	363	393	447
Eau vaporisée par kilog. de charbon pur	100,6	9,28	7,45
Eau vaporisée par kilog. de charbon pur en vapeur à 100° avec de l'eau à 100°	11,98	11,04	8,85

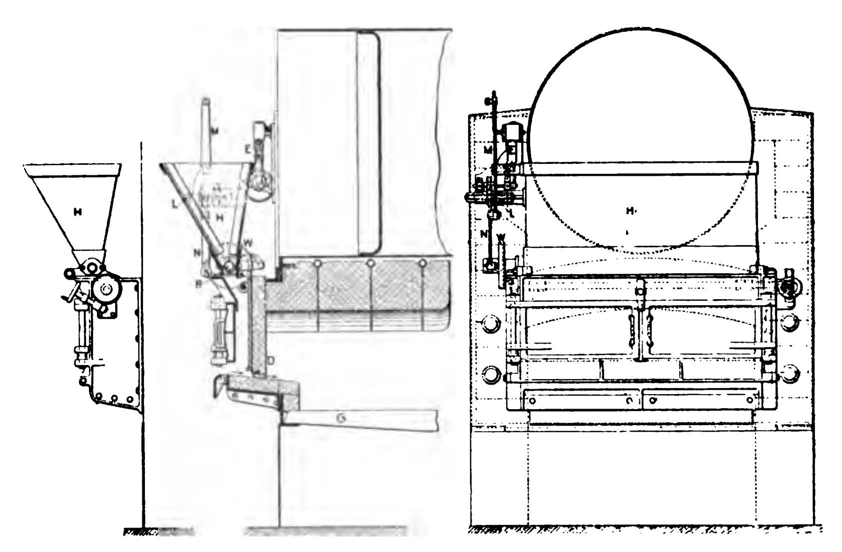


Fig. 50. — Foyer Westlake.

Dans le foyer Pinther, le charbon (*fig.* 51) tombe, au travers de rouleaux tournant dans le même sens, dans une caisse, d'où il est soufflé par un double courant d'air, réglable à volonté. L'appareil

peut s'écarter en pivotant sur ses charnières pour la mise en train et la vidange des scories.

Dans le foyer construit par l'Ideal Fuel Feeder C°, de New-York, le charbon passe de la trémie (*fig.* 52) au broyeur pourvu d'ailettes fixes alternativement longues et courtes $bb'b_2$ avec dents b_3, correspondant aux ailettes et aux dents c_3 de la noix, commandée par la vis sans fin E. Le charbon concassé puis broyé tombe sur un plateau à ailettes et à dents qui l'amènent à un ventilateur à palettes aspirant de l'air par une ouverture réglable achevant la pulvérisation du charbon et refoulant le mélange d'air et de charbon par un injecteur.

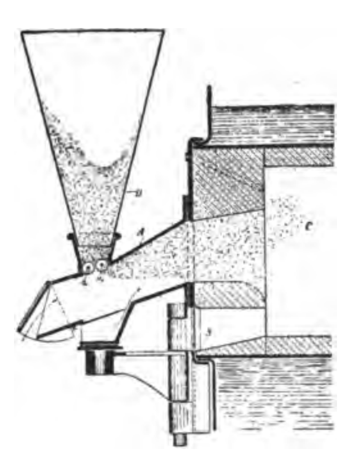
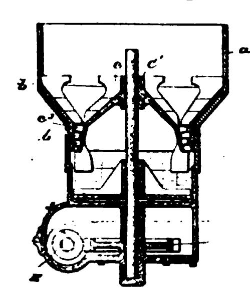


Fig. 51. — Foyer Pinther.

Dans l'appareil Leipp, le charbon est distribué sans tamisage par une noix au droit d'un ventilateur dont le courant arrive par un carneau annulaire au bas d'une chambre de combustion conique; l'appareil est muni d'un cendrier à eau.

Le système Schütze repose sur l'emploi d'un distributeur à pochette qui laisse échapper le charbon au droit d'un ventilateur.



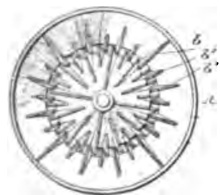


Fig. 52. — Broyeur pour le foyer de l'Ideal Fuel Feeder C°.

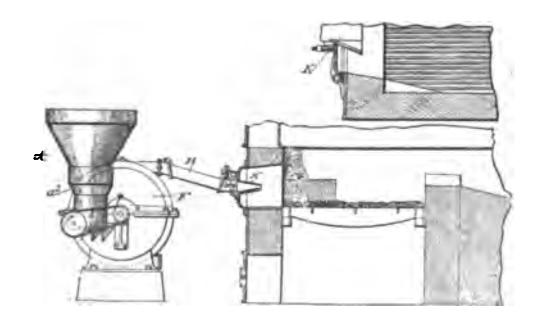


Fig. 53. — Foyer de l'Ideal Fuel Feeder C°.

Le foyer Schmitz distribue la farine de charbon par des palettes;

elle est refoulée, puis aspirée par un ventilateur et passe au foyer par un conduit recourbé. On recueille l'excès de charbon dans deux bacs pleins d'eau placés au bas de l'appareil.

Le foyer de Camp utilise un mélange d'air et de charbon en poudre soufflé par un ventilateur: ce mélange arrive par une hélice mélangeuse dans un moufle dont la température élevée empêche le contact immédiat des parois froides et assure la combustion complète.

La grille en fonte du foyer à poussier Parton est percée de trous coniques au travers desquels un souffleur injecte un mélange d'air et de vapeur surchauffée. La combustion s'achève par des chicanes. Le souffleur a jets multiples de vapeur est muni d'ajutages réglables aspirant l'air.

Dans le foyer Russel Lester et Ernst, le courant d'air chaud et de charbon réglé par un ventilateur est refoulé dans une tuyère à fente verticale avec lames pivotantes que l'on manœuvre au moyen d'un renvoi de mouvement.

L'appareil à combustible pulvérisé Riedinger comporte un piston qui se meut librement dans un cylindre et qui repose par des talons sur le charbon pulvérisé contenu dans le cylindre. Sous le piston, on introduit de l'air sous pression par un tuyau suffisamment flexible pour suivre tous les mouvements du piston auquel il est fixé par un tube central. Au bout de ce tube central est placé dans une direction perpendiculaire un autre tuyau portant une ailette et recourbé à son extrémité. L'air sous pression s'échappe à la fois par ce tuyau et par un orifice percé à la partie inférieure du tube central. Dans ces conditions, le tuyau recourbé à ailettes se met à tourner, et le charbon pulvérisé est soulevé et brassé par des tourbillons d'air. Il se produit en même temps un appel d'air extérieur par des tubes convergents fixés dans le piston et par des orifices percés dans le couvercle du récipient.

Le mélange s'élève dans un tuyau monté à joint télescopique dans la gaine centrale et se rend au foyer par une conduite spéciale. Cette conduite reçoit à un coude une tuyère qui aide au refoulement du mélange et qui fournit le complément du volume d'air nécessaire pour une combustion complète.

Dans le foyer Donaldson pour combustibles pulvérisés, le charbon tombe du pulvérisateur dans un séparateur dont les rebuts sont ramenés dans le pulvérisateur. Il est ensuite amené par une trémie et une vis à une tuyère soufflée par un ventilateur.

Quoi qu'il en soit de tous ces appareils, l'avantage d'un foyer à poussier est qu'on peut employer tout combustible, quelle que soit sa teneur en cendres et son état physique. Ce dernier point est particulièrement digne de remarque : que le charbon soit à l'état de menu ou qu'il se trouve en morceaux, il a ainsi la même valeur.

D'autre part, la régularité avec laquelle on peut conduire la combustion, sans que l'habileté du chauffeur ait à intervenir, est favorable à la conservation du générateur. En outre, le service des chaudières est très aisé : il consiste dans la surveillance des appareils et dans l'enlèvement des cendres, toutes les dix ou douze heures, par les ouvertures ménagées à cet effet à l'avant de la chambre de combustion. Un seul homme peut, dans ces conditions, desservir dix à douze chaudières. L'allumage se fait très facilement au moyen d'un petit feu de bois ou d'étoupes imbibées de pétrole. Pour des chaudières qui s'arrêtent pendant la nuit, on peut procéder à l'allumage en quelques minutes. De plus, il est très facile de forcer l'allure des générateurs en augmentant le poids de poussier admis dans l'unité de temps.

DEUXIÈME PARTIE

PETROLE

CHAPITRE VIII

PROPRIÉTÉS ET ANALYSE DU PÉTROLE

Définition. — *Propriétés des divers pétroles.* — Pétroles d'Amérique. — Distillation des pétroles d'Amérique. — Pétroles du Caucase. — Pétroles roumains. — Pétroles divers. — Mazouts. — *Essais et analyse des pétroles.* — Essai industriel. — Analyse. — Pouvoir calorifique. — Méthodes de Sainte-Claire Deville. — Méthode de M. Clavenad. — Expériences de M. Mahler. — *Traitement industriel du pétrole.*

Définition. — On donne le nom générique de pétroles à des hydrocarbures liquides naturels que l'on trouve dans l'Amérique du Nord, au Caucase, en Roumanie et dans quelques autres régions.

Le pétrole brut est d'ordinaire une huile de couleur brun foncé, qui, à la lumière réfléchie, paraît verdâtre ; sa consistance est souvent celle de la mélasse claire ; sa densité varie suivant son origine, mais elle est généralement comprise entre 0,78 et 0,92.

Par distillation, on obtient, entre 45° et 70°, les produits les plus légers très inflammables, formant facilement avec l'air des mélanges explosifs dangereux. Ces produits, recueillis, constituent l'*éther du pétrole* dont la densité est à peu près 0,65.

On recueille, entre 75° et 120°, des produits inflammables à la température ordinaire, et connus sous le nom de *naphte* ou *essence de pétrole*, ou *essence minérale*. Leur densité moyenne varie de 0,702 à 0,740.

On élève ensuite peu à peu la température à 150°, puis progressivement jusqu'à 280°, et l'on recueille pendant toute cette période l'huile d'éclairage, appelée *kérosène* ou *photogène*, qui aura besoin

de subir le raffinage pour être employée. Sa densité varie de 0,780 à 0,810.

Après le départ de l'huile d'éclairage, on élève encore la température progressivement jusqu'à près de 400°, et l'on recueille des huiles lourdes, généralement employées pour lubrifier les machines, et que l'on peut utiliser pour le chauffage; leur densité varie de 0,830 à 0,900.

C'est pendant cette dernière phase que la paraffine distille. La paraffine, encore fluide, est dirigée dans de vastes caves, disposées en glacières souterraines, où elle se coagule en toute saison. Une fois qu'elle est figée, on la comprime sous la presse hydraulique. Le liquide qui s'écoule de la paraffine pendant cette opération est encore une matière lubrifiante. Enfin le résidu de distillation est un coke plus dense que le coke de la houille et qui brûle bien sur les grilles.

Propriétés des divers pétroles. — Les divers pétroles ne possèdent pas tous les mêmes propriétés. Les pétroles du Caucase contiennent notamment beaucoup moins de paraffine que la plupart des pétroles américains et offrent une densité plus forte. La distillation du pétrole russe donne la moitié de la proportion d'huile lampante que fournissent les pétroles d'Amérique.

Pétroles d'Amérique. — On rencontre le pétrole dans l'Amérique du Nord, parallèlement aux monts Alleghanys, depuis le lac Ontario jusqu'en Virginie. Les principaux centres d'exploitation en Pennsylvanie sont Titusville et Oil City. On trouve également des gisements au Canada, à Gaspe, sur les bords du fleuve Saint-Laurent, dans le comté de Lambton; enfin, il existe des gisements de pétrole en Californie dans le Texas et au Wyoming.

Le pétrole de Pennsylvanie est un liquide plus ou moins fluide, odorant, dont la couleur varie du vert au brun verdâtre. Exceptionnellement quelques puits donnent du pétrole clair et limpide, que l'on peut employer sans épuration.

Le pétrole du Canada, de couleur foncée et plus visqueux que le pétrole de Pennsylvanie, répand une odeur très désagréable.

L'huile du Texas est excellente pour le chauffage, à l'état brut, après désulfuration; elle est beaucoup moins chère que les autres pétroles américains de la Pennsylvanie, de la Virginie ou de l'Ohio. Mais le pétrole du Texas ne peut être traité pour l'extraction des produits lampants : il est dense, visqueux, riche en produits asphaltiques, opaque et de couleur brun foncé. La densité est de 0,963

pour Saratoga Sud, de 0,955 pour Nacogdoche et de 0,830 pour Corsicana.

Ces huiles sont très sulfureuses, car leur teneur est d'environ 2,16 0/0 ; elles contiennent environ 1 0/0 de composés nitreux. Leur pouvoir calorifique est de 10.581 calories.

Sous une pression de 14 millimètres, l'état des fractionnements est le suivant :

95° à 100°	17 0/0	29° B.
150° à 200°	17 0/0	25° B.
250° à 300°	51 0/0	17° B.
Résidus	155 0/0	14° B.

Les huiles de Californie sont, comme celles du Texas, lourdes et noires, surtout dans le Sud : on les utilise principalement comme huiles de chauffage, leur distillation ne donnant presque pas de produits lampants. Aussi le chauffage des locomotives au pétrole a-t-il pris de l'extension sur les lignes de l'Atchison Topeka Santa-Fé R. R. et du Southern Pacific R. R., qui accusent une économie de 17 0/0.

Distillation des pétroles d'Amérique. — Le pétrole brut soumis au traitement industriel donne, d'après Hofer, les produits suivants :

	Quantité 0/0.	Densité en degrés Baumé.	Point d'ébullition.
Cymogène	»	110	0,0
Rhinogène	»	100	19°,4 à 70°
Gazoline	1,5	85-90	129°
Naphte	10,0	71-76	152°
Kérosène ou pétrole raffiné.	55,0	46	170°
Huile paraffinée	19,5	30	»
Coke, pertes, etc	10,0	»	»

On suit la distillation industrielle à l'aide de l'aréomètre Baumé ; une élévation de température de 5°,5 correspond à une augmentation de densité de 1° B.

En général, 100 barils de pétrole brut (159 hectolitres environ) donnent : 70 à 80 barils de pétrole raffiné ; 10 à 15 barils d'essence de pétrole ; 3 à 10 barils de résidus et 5 barils sont perdus.

D'après Pelouze et Cahours, les pétroles d'Amérique sont presque exclusivement formés par des hydrocarbures de la série C^nH^{2n+2}, depuis CH^4 jusqu'à $C^{16}H^{34}$. Au-dessus du point d'ébullition de cet hydrogène carboné, situé vers 280°, la distillation donne de la paraffine fusible de 45° à 65°, qui, distillée en vase clos, se scinde en hydro-

carbures liquides, bouillant à une température moins élevée et appartenant aux séries C^nH^{2n+2} ou C^nH^{2n}.

Schorlemmer a ainsi complété les résultats trouvés par Pelouze et Cahours.

		Densité.	Point d'ébullition.
Pentane normal........	C^5H^{12}....	—	37° à 39°
Diméthylpropane.......	C^5H^{12}....	0,626	30°
Hexane normal.........	C^6H^{14}....	0,633 à 17°	71°,5
Heptane normal........	C^7H^{16}....	0,712 à 16°	98°
Diméthyldiéthylméthane	C^7H^{16}....	0,711 à 0°	86°,5
Octane normal.........	C^8H^{18}....	0,703 à 17°	124°

D'après Beilstein et Kourbatof, le pétrole d'Amérique contiendrait aussi de l'hexahydrométaxylène; il y aurait donc, à côté des carbures forméniques, une petite proportion de carbures C^nH^{2n}, ayant la constitution des carbures aromatiques perhydrogénés.

Pétroles du Caucase. — La densité du pétrole de Bakou varie de 0,881 à 0,886 à la température de 15°. La distillation fractionnée du pétrole du Caucase permet d'en représenter graphiquement la composition, en prenant pour abscisses les proportions centésimales des produits qu'on en retire et pour ordonnées les densités.

Les divers produits du pétrole de Bakou, même très voisins, ayant un coefficient de diffusion très petit, les différentes espèces de pétrole ne se mêlent que très lentement, et les plus légères se superposent aux plus lourdes. Le coefficient de variation de la densité avec la température peut être considéré comme constant pour un hydrocarbure donné; ce coefficient décroît à mesure que la densité augmente.

En distillant avec précaution la moitié du pétrole, on obtient un volume de gaz inflammable qui surpasse plusieurs fois celui du pétrole employé. Cette décomposition a lieu, même quand on distille dans le vide; elle est surtout notable quand les hydrocarbures soumis à la distillation atteignent au moins une densité de 0,850. Elle est d'autant plus forte que la densité des huiles est plus élevée. On ne peut donc extraire les huiles lourdes qu'au moyen d'un courant de vapeur d'eau surchauffée. Quand on a distillé les trois quarts du pétrole, il reste un goudron qu'on ne peut distiller sans décomposition.

Le pétrole de Bakou contient beaucoup de vaseline, dont la densité surpasse celle de la vaseline d'Amérique, bien que les propriétés des deux corps soient les mêmes.

D'après Schutzenberger et Jonine, la majeure partie des pétroles du Caucase est formée par des carbures C^nH^{2n}, isomériques avec les carbures éthyléniques, mais qui s'en distinguent par une absence marquée d'affinités chimiques, ce qui les rapproche des carbures forméniques C^nH^{2n+2}.

On les considère comme des carbures perhydrogénés. Parmi ces carbures citons :

		Densité.	Point d'ébullition.
L'hexahydrobenzine........	C^6H^{12}	0,760	69°
L'hexahydrotoluène........	C^7H^{14}	0,772	97°
L'hexahydro-isoxylène......	C^8H^{16}	0,771	187°

Balstein et Kourbatof ont trouvé également l'hexahydrométaxylène.

Markovnikof et Oglobine ont montré que la composition des fractions du pétrole du Caucase bouillant entre 150° et 300°, sous la pression ordinaire et aussi celles des fractions passant de 210° à 330° sous la pression de 20 millimètres sont très voisines de $C^{2n}H^{2n}$, après qu'on a éliminé les produits oxygénés. On effectue cette séparation, en faisant agir pendant un certain temps de l'iode sur les hydrocarbures à leur température d'ébullition.

Dans la partie bouillant à 180° ou 200°, on a trouvé, outre une petite quantité de l'hydrocarbure $C^{11}H^{16}$, les hydrocarbures de la série C^nH^{2n} et, comme produit principal, les cymènes isomériques, la métaméthylpropylbenzine et la tétraméthylbenzine.

La fraction bouillant à 240° et 250° contient l'une des propylnaphtalines isomériques $C^{12}H^{14}$, les hydrocarbures $C^{11}H^{14}$ (série styrolène) et $C^{13}H^{20}$.

Au rouge vif, les carbures C^nH^{2n}, contenus dans le pétrole du Caucase, se transforment en carbures benzéniques. En fractionnant les produits obtenus au rouge sombre, on a trouvé du butylène et du crotonylène dans le mélange des hydrocarbures bouillant entre 15° et 35°.

Pétroles roumains. — Les pétroles roumains se composent presque exclusivement de carbone et d'hydrogène avec de légères traces d'hydrogène, de soufre et d'azote.

On trouve de 86,17 (Campeni) à 87,57 (Ocnitza) de carbone, 11,37 d'hydrogène et 1 0/0 d'oxygène.

Leur couleur varie du jaune clair transparent (Campeni Parjol) ou du rouge clair transparent (Plaïoul Teleajen) au brun et au noir opaque. Leur caractère spécial est leur fluorescence verdâtre.

La densité varie de 0,7833 (Campeni Parjol) à 0,905 (Sarata Tohani). Ils répandent une odeur en général éthérée, quelquefois alliacée, et sentent rarement l'acide sulfhydrique.

Leur viscosité varie à 20° de 1,04 (Campeni Parjol) à 4,80 (Sarata Tohani); la moyenne est de 2 à 2,80.

L'ébullition a lieu de 25° à 62°.

La distillation donne les résultats suivants :

Essences légères, entre 0° et 150°, de 0,1 0/0 (Sarata Tohani) à 49 0/0 (Slobozia Vrajitoarea);

Huiles lampantes, 150° à 300°, de 28 0/0 (Slobozia Vrajitoarea) à 47 0/0 (Campeni);

Résidus au-dessus de 300°, 13 0/0 (Campeni Parjol) à 58 0/0 (Sarata Tohani).

Ils contiennent de la paraffine en quantité variable : Slobozia Vrajitoarea, 3,8 0/0; Campeni Parjol, 29 0/0; Plaïoul Teleajen, 19 0/0.

Leur pouvoir calorifique est de 11.640 calories.

Pétroles divers. — Le pétrole de Kouban possède des propriétés analogues à celles du pétrole américain; il est riche en kérosène; sa densité, 0,80, est inférieure à celle du pétrole de Bakou.

Le pétrole d'Égypte a une densité élevée, 0,935. Il ne renferme ni éther, ni essence de pétrole, ni paraffine.

Les pétroles de l'océan Indien sont remarquables par la présence d'une assez forte proportion de produits sulfurés qui leur donnent une odeur très désagréable.

Enfin, on exploite aujourd'hui d'importants gisements de pétrole à Bornéo, à Java, à Sumatra, dans la Nouvelle-Zélande, en Tasmanie, dans la Nouvelle-Galles du Sud, à Formose, à Rangoon, au Japon. On a signalé en Chine d'immenses terrains pétrolifères dans la province du Setchouen.

La composition des pétroles japonais est assez différente suivant les gisements. Le poids spécifique varie de 0,8245 à 0,8952, la quantité de Soufre, de 0,23 à 0,61; d'azote, de 0,35 à 0,75; l'iode absorbe de 0 à 7,66.

Le pétrole du territoire d'Amoze contient d'assez grandes proportions de parties volatiles. Les températures, où la distillation est la plus abondante, sont 68°, 98°, 119°, 135°, 162°, 196° et 216°. Les parties à point d'ébullition élevé se solidifient en se refroidissant.

Mazouts. — Au point de vue de l'emploi du pétrole comme combustible, les produits les plus intéressants sont les *mazouts* et les *astakis*.

Les *mazouts* sont les résidus naturels qui se forment dans les cornues de distillation pendant l'élimination des kérosènes. Les mazouts du Caucase contiennent :

Carbone	87,1
Hydrogène	11,7
Oxygène	1,2

Ils forment à peu près la moitié du pétrole brut dont on a retiré les

essences et le kérosène qui sert à l'éclairage. La densité du mazout, substance noire et épaisse, varie de 0,900 à 0,920 pour celui de Bakou et de 0,934 à 0,935 pour celui de Kouban. La densité du mazout est plus forte en hiver qu'en été, saison pendant laquelle le naphte perd plus facilement son eau. On peut en extraire des huiles de graissage par des distillations successives qui laissent finalement des goudrons. Ces goudrons ont l'aspect un peu plus fluide et plus verdâtre que la mélasse ordinaire.

Le mazout possède un pouvoir calorifique supérieur à celui des meilleures houilles; en outre, il ne laisse pas de cendres et on peut en régler très facilement la combustion. On admet, en général, qu'un kilogramme de mazout équivaut à $1^{kg},500$ ou $1^{kg},750$ de bonne houille.

L'*astaki*, comme le mazout, est une huile lourde, peu inflammable, ce qui permet de l'employer en toute sécurité; il est inodore, ne s'avarie pas en restant emmagasiné dans les réservoirs exposés à l'air et ne détériore pas les récipients qui le contiennent. Sa densité est de 0,928 à 0°. L'analyse chimique montre qu'il se compose, en moyenne, de 87,1 0/0 de carbone, 11,7 0/0 d'hydrogène et 1,2 0/0 d'oxygène.

Sa puissance théorique de vaporisation est de $16^{kg},2$ d'eau à 8 atmosphères; en pratique, la production est de 11 à 12 kilogrammes de vapeur par kilogramme de combustible.

Le point d'inflammation des astakis est beaucoup plus élevé que celui du pétrole lampant; d'ailleurs on ne peut rien fixer à cet égard, car la température d'émission de vapeurs inflammables varie pour les astakis dans de larges limites, c'est-à-dire entre 85° et 175° environ.

Nous donnons ici les résultats d'essais faits en Angleterre sur divers combustibles liquides.

		HUILE LOURDE RUSSE	MAZOUT RUSSE	HUILE BRUTE DE BORNÉO	HUILE BRUTE DU TEXAS
Composition chimique	C........	86,6	87,1	87,90	85,66
	H........	12,3	11,7	10,78	11,03
	O........	1,1	1,2	1,24	3,21
Pouvoir calorifique...............		10.800	10.700	10.430	10.581
Poids spécifique..................		0,938	0,908	0,963	0,910

Essais et analyse des pétroles. — Les pétroles, ainsi que nous venons de le dire, contiennent une série d'hydrocarbures homologues du gaz du marais et caractérisés, comme lui, par un point d'ébullition qui s'élève depuis 0° jusqu'au-dessus de 300°. Les plus légers sont gazeux à la température ordinaire; les plus lourds sont solides, comme les diverses paraffines.

Tous ces hydrocarbures sont attaqués par le chlore avec élimination successive d'hydrogène sous forme d'acide chlorhydrique et fixation d'une quantité de chlore équivalente. Le premier terme de la substitution, pour chacun de ces carbures, représente l'éther chlorhydrique de l'alcool correspondant.

Tous ces éthers chlorhydriques chauffés avec du sodium donnent du chlorure de sodium et un hydrocarbure renfermant 2 atomes d'hydrogène de moins que le carbure primitif; on repasse ainsi de la série du gaz de marais à la série du gaz oléfiant.

Les pétroles renferment des substances très volatiles et très inflammables, comme les hydrures de butyle, d'amyle, etc., dont le dégagement dans les cales a causé la perte d'un grand nombre de navires pétroliers.

Essai industriel. — Pour reconnaître le plus ou moins de danger que peuvent présenter les huiles brutes au point de vue du transport, on peut, comme l'a indiqué H. Sainte-Claire Deville, constater pour chacune d'elles les quantités de matières volatilisées au-dessous de 150°; en déterminant ensuite les quantités de matières volatiles entre 150° et 280° et celles qui ont résisté à cette température, on aura les proportions d'essence, d'huile lampante, d'huile combustible, et enfin d'huile propre à lubrifier les machines.

H. Sainte-Claire Deville a déterminé ces proportions en soumettant une petite quantité de pétrole brut à la distillation dans un petit alambic de cuivre muni d'un serpentin. Un thermomètre donne à chaque instant la température de la vapeur. En notant la perte de poids de l'alambic quand la température atteint d'abord 150°, puis 280°, on a le poids de l'essence et le poids de l'huile lampante.

Les pétroles présentent une autre cause de danger signalée par H. Sainte-Claire Deville, et qui tient à leur grande dilatabilité sous l'influence de la chaleur. Cette dilatabilité suffit pour faire éclater les tonneaux métalliques, si on les a remplis à une température inférieure à celle qui peut résulter, soit des variations de la température dans le même lieu, soit du changement de latitude. H. Sainte-Claire Deville,

prenant la densité à 0° et à 50°, en a déduit le coefficient de dilatation. La connaissance de ces coefficients permet aux expéditeurs de déterminer la valeur de l'espace qu'il faut laisser vide dans le tonneau qui contient l'huile. Cet espace sera égal à $V \times K \times 50°$, si l'on représente par V le volume du liquide, par K le coefficient de dilatation, et si l'on suppose que, pendant le voyage, l'huile doive être exposée à un changement de température de 50°.

Analyse. — L'analyse élémentaire se fait comme il a été dit pour la houille, notamment en ce qui concerne le soufre. Nous indiquerons seulement les expériences particulières concernant la détermination du poids spécifique et celle du point d'inflammation.

Le poids spécifique se déterminera avec un densimètre à la température de 15°. S'il arrivait que le liquide fût trop épais pour faire usage d'un densimètre, on aura recours à la méthode du flacon. On peut aussi mettre une goutte du pétrole dans une éprouvette contenant de l'alcool à 15°. On ajoute de l'eau jusqu'à ce que la goutte reste en équilibre au milieu du liquide. On peut alors prendre le poids spécifique à l'aide du densimètre.

Pour déterminer rapidement le point d'inflammation d'un pétrole, on en verse une petite quantité dans un récipient de $0^m,05$ de diamètre et de $0^m,05$ de profondeur. On couvre le récipient avec une plaque d'amiante, traversée par un thermomètre descendant à $0^m,005$ du fond du récipient. On met le tout dans un bain de sable, et on élève progressivement la température. Après chaque élévation de 1° du bain de sable, on soulève l'amiante et on enflamme la vapeur fournie. La température indiquée chaque fois par le thermomètre fournit le point d'inflammation.

Pouvoir calorifique. — Pour obtenir le pouvoir calorifique théorique, H. Sainte-Claire Deville a déterminé la composition élémentaire des pétroles, en admettant, comme pour la houille, que la quantité de chaleur donnée par la combustion du composé est la somme des quantités de chaleur de combustion des éléments. Le nombre ainsi trouvé pour les pétroles est un maximum.

Méthodes de Sainte-Claire Deville. — Pour obtenir le pouvoir calorifique réel des pétroles, H. Sainte-Claire Deville a employé deux méthodes.

La première de ces méthodes est la suivante :

Dans une chaudière tubulaire de 6 chevaux contenant 540 kilogrammes d'eau environ, il avait fait établir un foyer en briques entiè-

rement entouré d'eau, et au-devant duquel une plaque de fonte percée de trous donnait accès en même temps à l'huile et à l'air; l'huile, en se répandant sur la tôle, se volatilisait, et, rencontrant le courant d'air qui entre par les trous, se brûlait sans fumée.

L'huile minérale était contenue dans deux vases de Mariotte, en tôle, munis d'un long tube de niveau gradué en millimètres.

La chaleur développée dans l'intérieur du foyer et observée dans la chaudière y produisait de la vapeur d'eau qui était condensée par un serpentin. Cette eau était amenée dans des réservoirs en tôle gradués et fermés, d'où, au moyen de l'air comprimé par la machine, et, après avoir parcouru les tuyaux enveloppant la chaudière, elle retournait dans celle-ci sans perte et à une température connue. On avait ainsi la quantité de chaleur produite dans le générateur.

Il restait à déterminer la chaleur qui sortait avec les fumées ou plutôt avec les produits incolores de la combustion. Ces gaz passaient à travers un tuyau horizontal à double enveloppe, dans un condenseur à surfaces susceptibles d'être refroidies comme le tuyau horizontal et se dégageaient, après un grand nombre de circuits, dans la cheminée où était placé un thermomètre. Une quantité d'eau s'écoulait en partant d'un compteur à débit constant, traversait entre deux lames métalliques toutes les surfaces léchées par la fumée, s'engageait entre les deux enveloppes de la cheminée horizontale et venait enfin se déverser au dehors. Deux thermomètres très sensibles donnaient la température de l'eau à son entrée et à sa sortie de l'appareil réfrigérant.

On mettait l'appareil en fonction et on continuait de chauffer jusqu'à ce que les températures t et t' de l'eau à l'entrée et à la sortie du réfrigérant des fumées ainsi que le poids P de la vapeur produite par le générateur et le poids M de l'huile employée devinssent absolument constants. Alors, en les déterminant pendant deux ou trois heures environ, on avait, avec une grande exactitude, la chaleur de la combustion Q par la formule :

$$Q = \frac{(637 - T)P + K(t - t')}{M}$$

dans laquelle T est la température de l'eau d'alimentation, et K le poids de l'eau qui refroidit la fumée.

La seconde méthode de Sainte-Claire Deville a l'avantage de pouvoir être appliquée toutes les fois que l'on possède une machine à

vapeur dont la chaudière est chauffée aux huiles minérales. Elle consiste à brûler, sous la chaudière d'une machine à vapeur produisant un travail régulier, successivement les mêmes quantités de l'huile sur laquelle on veut expérimenter et d'une huile type dont la chaleur de combustion bien constante a été déterminée une fois pour toutes.

On prend par exemple une machine de 8 chevaux à chaudière Belleville. On maintient constante, à moins de 1/10 d'atmosphère près, la pression dans la chaudière pendant que la machine comprime, dans un grand réservoir en fer de 40 mètres cubes, de l'air à une pression constante de 2 atmosphères 3/4. L'air amené par les pompes s'échappe par un robinet dont l'ouverture est convenablement réglée pour que, la machine faisant un travail constant, la pression dans le réservoir reste elle-même absolument invariable. Dans ces conditions, on mesure exactement la quantité d'eau volatilisée dans la chaudière, les quantités d'huile consommée et, quand on fait les deux déterminations successivement pour l'huile lourde de gaz servant de type et pour l'huile mise en expérience, on a toutes les données nécessaires pour calculer le pouvoir calorifique de cette dernière.

Ces méthodes ont toutes deux conduit à ce résultat que les parties des pétroles qui ne distillent pas au-dessous de 280°, fournissent, à égalité de poids, 1 1/2 à 2 fois autant de chaleur que les houilles de meilleure qualité. L'huile lourde de houille des usines à gaz est dans le même cas que les huiles lourdes de pétrole ; c'est, par suite, le combustible le plus facile à manier, et même le plus économique à employer. Le pouvoir calorifique du pétrole et, en particulier, celui des résidus de distillation, est de 11.000 calories en moyenne, et il atteint même 11.500 calories pour certaines huiles minérales de provenance américaine[1].

1. Pour la détermination du pouvoir calorifique, Sainte-Claire Deville a employé la formule suivante qui diffère peu de celle de Dulong,

$$Q = 8{,}080C + \left(H - \frac{O}{8}\right) 34.500$$

et a trouvé :

	DENSITÉ	C	H	O	POUVOIR calorifique
Huile distillée de White Oak (Virginie occidentale)	0,819 à 13°	85,3	13,9	0,8	11,621
Huile distillée de Burminy Springs (V. O.)......	0,762 à 14°,2	84,0	14,4	1,6	11,681
Huile brute de Oil Creek (Pennsylvanie).........	0,816 à 0°	82,0	14,8	3,2	11,588

Méthode de M. Clavenad. — M. Clavenad, ingénieur des ponts et chaussées, a fait ressortir qu'habituellement on calcule d'une façon anormale les pouvoirs calorifiques théoriques des hydrocarbures liquides.

En effet, on prend pour points de départ des évaluations 8.000 calories pour le pouvoir calorifique du carbone, et 34.500 calories pour celui de l'hydrogène. En opérant ainsi, on oublie que ces deux chiffres correspondent au carbone solide amorphe et à l'hydrogène gazeux. Or il faut tenir compte de ce fait que le carbone, se trouvant déjà ramené à l'état liquide dans l'hydrocarbure considéré, y possède une somme plus grande de calories que le carbone solide. Inversement le pouvoir calorifique de l'hydrogène d'une combinaison liquide est inférieur à celui de l'hydrogène gazeux.

La chaleur dégagée par la combustion d'un atome de carbone d'une combinaison à l'état gazeux, est égale à celle dégagée par la combustion de 4 atomes d'hydrogène. Le poids d'un atome de carbone étant douze fois celui d'un atome d'hydrogène, et 1 gramme d'hydrogène ayant un pouvoir calorifique de 34.500 calories, 1 gramme de carbone d'hydrocarbures gazéifiés a donc un pouvoir calorifique de

$$\frac{34.500 \times 4}{12} = 11.500 \text{ calories.}$$

Dans la combustion complète du carbone, la première réaction ($C + O = CO$) dégage autant de calories que la seconde ($CO + O = CO^2$). Le poids de carbone initial correspondant à 1 gramme d'oxyde de carbone étant $0^{gr},428$, et la transformation de ce gramme d'oxyde de carbone en acide carbonique dégageant exactement 2.431 calories, la combustion complète ($C + O + O = CO^2$) de 1 gramme de carbone dégage donc 2 fois :

$$\frac{2.431 \times 1}{0,428} = 11.360 \text{ calories.}$$

En définitive, d'après M. Clavenad, on aura assez exactement le pouvoir calorifique d'un hydrocarbure liquide gazéifié en se basant sur le chiffre de 11.500 ou 11.360 calories pour le carbone et de 34.500 calories pour l'hydrogène.

Expériences de M. Mahler. — M. Mahler a fait sur les pouvoirs calorifiques de divers hydrocarbures des expériences qu'il a résumées dans un tableau intéressant dont nous donnons ci-après un extrait.

ANALYSES

ET CHALEURS DE COMBUSTION DE DIVERS PÉTROLES

DÉSIGNATION DES COMBUSTIBLES	ANALYSE ÉLÉMENTAIRE					ANALYSE ÉLÉMENTAIRE abstraction faite des cendres et de l'eau			POUVOIR CALORIFIQUE			
	C	H	O + Az	EAU hygroscopique	CENDRES	C	H	O + Az	OBSERVÉ DIRECTEMENT	ABSTRACTION FAITE DES CENDRES et de l'eau Q_0	$Q_1 = 345H + 78{,}60C$	DIFFÉRENCE $Q_1 - Q_0$
									Calories.	Calories.	Calories.	Calories
Huile lourde de pétrole d'Amérique......	86,894	13,107	»	»	»	86,894	13,107	»	10,913	10,913	11,352	439
Pétrole raffiné d'Amérique.............	85,491	14,216	0,293	»	»	85,491	14,216	0,293	11,047	11,047	11,624	577
Essence de pétrole d'Amérique..........	80,583	15,101	4,316	?	»	?	?	?	11,086	11,086	11,543	457
Pétrole brut d'Amérique................	83,012	13,889	3,099	?	»	?	?	?	11,094	11,094	11,316	222
Huile lourde de Bakou (Russie)..........	86,700	12,944	»	»	0,35	87,005	12,989	»	10,805	10,843	11,320	477
Pétrole de Novorossisk (Caucase).........	84,906	11,636	3,458	?	»	?	?	?	10,328	10,328	10,688	360
Naphto-schiste de la Nouvelle-Galles du Sud	74,574	10,576	3,913	?	10,937	83,732	11,875	4,393	9,246	10,381	10,678	297
Ozokérite de Boryslaw..................	83,510	14,410	0,100	?	1,95	85,170	14,720	0,11	10,946	11,163	11,773	610

Dans une colonne spéciale sont inscrites les chaleurs de combustion Q_1 calculées d'après les éléments des corps observés, en supposant le pouvoir calorifique du carbone égal à 7.860 calories par kilogramme. On a adopté pour chaleur de combustion du carbone celle qui a trait au diamant d'après M. Berthelot. Ce tableau accuse une profonde différence entre les combustibles d'origine interne et les divers autres combustibles.

Cette différence s'atténue beaucoup quand il s'agit des produits d'émanation que l'action de l'oxygène a modifiés. C'est ainsi que l'asphalte de la mer Morte obéit sensiblement à la loi de Dulong.

Asphalte de la mer Morte. Cendres : 36,20 0/0.	C......	76,31	Chaleur de combustion abstraction faite des cendres : 8.900 calories observées.
	H......	9,16	
	O + Az.	11,53	
	S......	3,00	
	Total :	100,00	

Le tableau montre également que la composition des pétroles ne saurait donner une idée de leur chaleur de combustion. Il est indispensable de la déterminer au moyen du calorimètre. Le pouvoir calorifique réel Q_0 est toujours inférieur à la chaleur de combustion des éléments. En outre, pour les produits de la distillation des pétroles d'Amérique, la quantité $Q_1 - Q_0$ de l'huile brute est inférieure à la même quantité relative à l'un quelconque des liquides provenant de l'opération industrielle. D'autre part, le pouvoir calorifique de l'huile brute est toujours supérieur à celui des autres produits, quelle que soit leur composition. Les pouvoirs calorifiques des huiles étudiées sont compris entre 10.300 calories (pétrole brut de Russie) et 11.100 calories (pétrole brut d'Amérique). Les produits américains ont donné plus de chaleur que les produits russes de même espèce.

Traitement industriel du pétrole. — Théoriquement, l'action de la chaleur sur le pétrole brut est très simple : le méthane, l'éthane, le propane et le butane dissous se dégagent les premiers; puis il passe à la distillation de l'éther de pétrole, de l'huile lampante et, enfin, de l'huile paraffineuse.

Dans la pratique, les phénomènes sont plus compliqués. Les cornues cylindriques en tôle sont exposées à une température très élevée à leur partie inférieure, qui est en contact avec le foyer. Il se forme, alors, des produits de distillation absorbables par le brome, en quantité d'autant plus considérable que la partie inférieure de la cornue est plus surchauffée. Ce phénomène se constate surtout dans

la redistillation des produits, dont le point d'ébullition dépasse 300°.

Il se forme ainsi de nombreux carbures éthyléniques, parmi lesquels l'éthylène, le propylène, le butylène, l'amylène et l'hexylène. A partir du butylène, ces hydrocarbures se forment sous plusieurs modifications isomériques que l'on peut isoler, en utilisant les différences des points d'ébullition de leurs bromures ou la facilité plus ou moins grande avec laquelle ils s'unissent à froid à l'acide chlorhydrique (Le Bel).

Outre la série éthylénique, il se forme aussi des carbures moins saturés, tels que l'acétylène et le crotonylène.

La partie de l'essence du commerce qui bout entre 50° et 80°, réduite en vapeur et dirigée à travers un tube de porcelaine, chauffé au rouge sombre, donne de l'éthane et du propane. En général, les carbures C^nH^{2n+2} des pétroles soumis à l'action brusque de la chaleur se séparent en composés contenant moins de carbone et dont la saturation varie avec la température, la pression et le temps pendant lequel la matière organique est maintenue sous l'influence de la chaleur.

En résumé, le traitement industriel des pétroles donne :

1° Des essences;

2° De l'huile lampante (carbures forméniques);

3° Des carbures éthyléniques;

4° Des carbures acétyléniques;

5° Des carbures aromatiques;

6° Du coke;

7° De l'hydrogène libre.

L'étude complète d'un naphte comporte les opérations suivantes :

1° Détermination du degré de transparence et de limpidité;

2° Coloration des huiles;

3° Poids spécifique;

4° Température de combustion (appareil Abel et Martin Pensky);

5° Viscosité (appareil Engler de la Société Nobel, viscosimètre Redwood);

6° Quantité de matières goudronneuses;

7° Degrés d'acidité et de pureté;

8° Quantité d'eau contenue dans le naphte;

9° Essai photométrique;

10° Sous-produits.

CHAPITRE IX

EMPLOIS DU PÉTROLE

Emploi dans les foyers de chaudières fixes. — *Emploi sur les locomotives.* — Conditions de réception du pétrole pour le chauffage des locomotives. — Applications en Russie. — Applications en Angleterre et en France. — Applications en Californie. — Application aux tunnels. — *Emploi sur les navires.* — Facilités de ravitaillement. — Autres avantages d'emploi. — *Briquettes de pétrole.*

Emploi dans les foyers de chaudières fixes. — Les avantages qui résultent de l'emploi du combustible liquide dans les foyers de chaudières fixes sont nombreux.

Tout d'abord, ce combustible ne laisse pas de cendres ; son introduction dans le foyer n'exige pas de travail pénible, et s'effectue, au contraire, automatiquement avec la plus grande facilité. Tandis que la combustion de la houille ne donne jamais une température constante, par suite des changements d'épaisseur du combustible sur la grille et des rentrées d'air par le foyer, avec le pétrole, au contraire, la température est constante et bien supérieure à celle de la houille, qui a un pouvoir calorifique moindre.

On peut d'ailleurs régler les proportions relatives d'huile et d'air de manière à avoir une combustion complète sans excès d'air. Enfin le combustible liquide occupe moins de place que le charbon nécessaire pour produire le même effet.

Le pouvoir évaporatoire théorique du mazout est $16^{kg},2$, ainsi que nous l'avons dit ; celui de l'anthracite est $12^{kg},2$; par conséquent, le mazout, à poids égal, vaporise 33 0/0 en plus, théoriquement. L'utilisation du combustible peut être rendue beaucoup meilleure, et là où le charbon ne donne que 60 0/0 de son pouvoir calorifique théorique, le mazout peut donner 80 0/0 ; d'où un avantage de plus de 75 0/0 en faveur du mazout.

Par conséquent, dans toutes les régions où la tonne de mazout se maintient au-dessous d'un prix égal aux 7/4 de celui de la tonne de houille, on aura un avantage à substituer le mazout à la houille.

Il faut joindre à ces avantages celui de permettre une surveillance très facile : un homme suffit pour une batterie de 6, 8, 10 chaudières.

Ces diverses considérations contribuent à développer beaucoup l'emploi du mazout. Des expériences faites en Russie ont prouvé que les quantités de vapeur développées dans une même chaudière et dans les mêmes conditions de pression ou d'allure par le pétrole d'une part, et, d'autre part, par différents combustibles solides sont égales pour les poids suivants :

A 100 kilogrammes de résidus de pétrole correspond une consommation de 320 kilogrammes de tourbe ; 142 kilogrammes de coke ; 140 kilogrammes de bonnes briquettes de houille ; 139 kilogrammes d'anthracite du Donetz ; 153 kilogrammes de houille du Donetz ; 276 kilogrammes de houille du bassin de Moscou ; 176 kilogrammes de houille de l'Oural ; 140 kilogrammes de houille de Kouban ; 165 kilogrammes de houille de Pologne ; 167 kilogrammes de houille de Silésie ; 139 kilogrammes de houille anglaise.

M. H. Le Châtelier, professeur à l'École Supérieure des Mines de Paris, a conclu de ses expériences que les quantités de vapeur produites dans la même chaudière et dans les mêmes conditions pratiques par les résidus de pétrole et par la houille sont proportionnelles aux puissances calorifiques de ces deux combustibles. Le rapport entre les poids de la vapeur évaporée est de 1, 1/2 à 1.

M. Le Châtelier a trouvé que 1 kilogramme de résidus de pétrole fournissait 12 kilogrammes et demi de vapeur.

On aura aussi recours avec avantage au chauffage au pétrole dans des stations centrales de production de lumière électrique, pour parer à des augmentations subites de consommation, dues à des brouillards ou à d'autres causes : il est, en effet, difficile, quand on dispose uniquement de chaudières chauffées à la houille, de produire instantanément une quantité de vapeur suffisante pendant la période de consommation maximum. Avec les chaudières chauffées au combustible liquide, on peut, au contraire, forcer la production pendant une courte période sans la moindre difficulté.

Il est indispensable de prendre certaines précautions pour éviter les dangers d'incendie qui pourraient résulter de l'emmagasinage de grandes quantités de pétrole dans une usine. Le pétrole devrait être conservé autant que possible en vases métalliques ; cette précaution est indispensable pour l'essence. Il est désirable que les magasins soient éloignés des habitations. La meilleure méthode serait d'emmagasiner le pétrole en citernes souterraines séparées de toute habitation. Les citernes en métal devront être hermétiquement fermées et munies d'un trou d'air couvert de fine toile de cuivre. En cas d'incendie, l'huile dans une pareille citerne brûlerait entièrement sans explosion ou même échapperait totalement à l'ignition.

Dans tout magasin, il devrait y avoir du sable et une pelle, mesure utile non seulement pour absorber le pétrole répandu, mais encore pour éteindre le feu dès le début.

Emploi sur les locomotives. — L'emploi du combustible liquide permet de réaliser de nombreuses et importantes économies pour le chauffage des locomotives :

1° La tâche difficile et fatigante du chauffeur est rendue beaucoup plus facile, grâce à l'alimentation continue et automatique des foyers, qui supprime également les rentrées d'air par les portes ;

2° L'allumage et la mise en pression sont rapides. Au dépôt, avec de l'eau froide et en empruntant de la vapeur à une locomotive voisine ou à une chaudière fixe pour faire fonctionner l'injecteur, il faut une demi-heure pour porter l'eau à 100°, et une heure et demie en tout pour obtenir une pression de 12 kilogrammes ; avec de l'eau d'alimentation à 70°, on a atteint 9 kilogrammes de pression en mois d'une heure ;

3° La combustion est exempte de fumée ; on évite la production de fumée en réduisant l'arrivée du pétrole, dès qu'on constate la présence d'un panache de fumée au-dessus de la cheminée ;

4° On peut faire varier facilement et rapidement la pression à la chaudière ; on atteint une précision parfaite dans le réglage du feu. Étant donnée l'alimentation continue et automatique, on peut donner des coups de collier ou arrêter, au contraire, instantanément la production de la chaudière ;

5° Il y a absence de poussière ou de suie dans les tubes et dans la boîte à fumée ; de même, absence d'escarbilles et d'étincelles qui encrassent la grille et les tubes ;

6° Le foyer et la tubulure demandent moins d'entretien qu'avec la houille, ce qui tient à l'absence de soufre dans le pétrole. Grâce à la présence du revêtement, le refroidissement est lent et uniforme, ce qui est à la fois économique et favorable à la conservation de la chaudière ;

7° Étant donné le pouvoir calorifique considérable des résidus de naphte, 30 à 40 0/0 supérieur à celui des meilleures houilles, et la facilité que l'on a de pousser ou de diminuer le feu instantanément, on peut franchir des distances plus considérables avec un approvisionnement donné qu'avec le chauffage à la houille, même si l'on emploie du Cardiff de premier choix.

Un autre avantage est la facilité avec laquelle on approvisionne les machines de combustible. Cette opération n'exige, en effet, que deux ou trois minutes.

M. Aspinall a signalé que l'emploi du combustible liquide dans les locomotives permet de ne pas serrer l'échappement. Il ne se produit donc pas de dépression dans la boîte à fumée, et il est évident qu'il en résulte un contact plus intime des gaz avec les tubes.

En effet, avec le pétrole, la section de l'échappement est de 30 à 40 0/0 plus considérable que dans le cas de la houille, l'emploi d'injecteurs pour introduire le pétrole dans le foyer ayant pour effet de produire un tirage forcé. Il existe deux tuyères à vapeur, l'une pour l'injection du pétrole, et l'autre pour l'injection de l'air. Quand on emploie le chauffage mixte à l'huile et à la houille, on peut arrêter l'injection de l'huile pendant les arrêts et entretenir la pression avec la houille seule.

Signalons, d'autre part, quelques inconvénients qu'il est facile d'éviter avec le chauffage des locomotives au pétrole.

Un quart d'heure après avoir éteint le feu, il faut envoyer de la vapeur vive dans le foyer au moyen de l'injecteur, en ouvrant en même temps le capuchon de la cheminée et le souffleur pour chasser les gaz détonants qui se forment après la fermeture de l'injecteur. En effet, les gouttes de pétrole qui suintent, rencontrant des parois chaudes, se vaporisent et donnent des gaz inflammables qui pourraient faire explosion au moment du rallumage.

D'ailleurs, en général, bien que les combustibles liquides ne soient pas dangereux, ils doivent cependant être manipulés avec soin et attention, si l'on veut éliminer tout danger d'explosion et d'incendie.

C'est ainsi que, pendant le chargement du réservoir du tender, il ne faut pas en approcher avec des lumières. On ne doit pénétrer avec une lumière dans les réservoirs à pétrole pour les nettoyer ou les réparer qu'après les avoir lavés et purgés de gaz combustibles. On ne doit tolérer aucune fuite aux réservoirs ni à la tuyauterie de pétrole.

Il faut éviter l'emploi de la contre-vapeur quand on chauffe au pétrole. En effet, quand on bat contre-vapeur, la pression monte dans la chaudière, la combustion n'est plus régulière, et il se produit des explosions partielles; une partie des gaz combustibles s'écoulent dans la boîte à fumée sans être brûlés et sont aspirés dans les cylindres où ils peuvent faire explosion en provoquant leur destruction.

Conditions de réception du pétrole pour le chauffage des locomotives. — En Russie les résidus de naphte pour le chauffage des machines doivent provenir uniquement de la distillation du naphte, du pétrole ou de la benzine et non d'huiles animales. Leur poids spécifique, à 17° 1/2, ne doit pas dépasser 0,911 à 0,912; ils ne doivent contenir ni eau, ni boue sableuse, ni alcalis. Lors de la réception, leur température ne doit pas dépasser 50° et leur degré

d'inflammation doit être supérieur à 140° ou 150°. Certains réseaux de chemin de fer stipulent comme limites de la densité 0,905 à 0,915 à la température de 14° R. Il n'y a aucune stipulation pour la viscosité. La Compagnie de navigation Caucase et Mercure demande 0,926 comme densité. La marine russe accepte un point d'inflammabilité de 100° minimum et une densité de 0,950. En Amérique on prend comme minimum 200° Fahrenheit et la combustion doit se faire sans laisser de cendres.

Lors des essais de réception, on tolérera au maximum 3 à 6 0/0 d'eau. Pour déterminer l'eau contenue dans le pétrole, on prend d'abord la densité d_1 du produit. On chauffe ensuite pendant quelque temps à 103° et on détermine la densité d_2.

La quantité d'eau q se détermine par la relation :

$$(1 - q)\, d_2 + q = d.$$

On peut aussi mesurer l'eau au moyen d'un petit alambic ou en additionnant le mazout de benzine après chauffage préalable. L'eau se précipite au fond de l'éprouvette graduée dans laquelle on opère.

En ce qui concerne l'essai du degré d'inflammation, on ne doit pas être trop sévère, car on s'exposerait à payer fort cher le produit et à avoir un pétrole très visqueux, dont la pulvérisation serait assez difficile.

Après réception, le pétrole sera emmagasiné dans de grands récipients ou citernes pour lesquels il faut prévoir une certaine dilatation. On admet un coefficient de 0,000735.

Applications en Russie. — Le Gouvernement russe, désireux de favoriser une industrie nationale, a, par conséquent, beaucoup encouragé l'application du pétrole au chauffage des locomotives, particulièrement en soumettant depuis quelques années les houilles anglaises à des droits d'entrée prohibitifs.

Les chemins de fer russes, surtout ceux du Sud-Est, région dans laquelle l'approvisionnement est facile, emploient comme combustibles les résidus de première distillation (mazouts ou astakis) encore très impurs.

Bien que le pouvoir calorifique du naphte soit supérieur d'environ 50 0/0 à celui de la houille de Newcastle, la houille anglaise était encore, il n'y a pas très longtemps, le combustible le plus économique, dans la région de Pétersbourg; les nouveaux droits d'entrée appliqués aux houilles anglaises les ont chassées du marché ; les

houilles russes et le naphte restent seuls en présence, et l'emploi du naphte donne à Pétersbourg une économie de 33 0/0; cette économie augmente à mesure qu'on se rapproche du Caucase.

D'après M. Brückmann, le chauffage au pétrole, en Russie, présente l'avantage de frais moins élevés que le chauffage à la houille russe; l'économie varie de 25 à 45 0/0, suivant la distance qui sépare le point de consommation du gisement de pétrole.

La question de l'emploi des combustibles liquides sur les lignes russes a surtout été étudiée par M. Goulichambarof, dans son ouvrage sur *le Chauffage au pétrole*, et M. Arzich, dans une brochure ayant pour titre *le Chauffage des locomotives au bois, au charbon et au pétrole*.

Dès l'année 1870, des ingénieurs des chemins de fer russes furent chargés d'étudier la question et commencèrent des essais, qui, pendant plusieurs années, ne donnèrent pas de résultats favorables.

Ce n'est qu'à partir de l'année 1880 qu'a commencé véritablement l'application du pétrole au chauffage des locomotives en Russie. Les premiers réseaux qui adoptèrent le nouveau mode de chauffage furent ceux qui traversaient les régions pétrolifères ou qui se trouvaient à proximité de cette région. Puis peu à peu le voisinage de la mer Caspienne et l'existence de la Volga qui s'y déverse ont permis au combustible liquide de remonter cette voie fluviale et de pénétrer sur les marchés du centre de la Russie.

On a constaté que le chauffage au pétrole permet de réaliser des économies qui se traduisent non seulement par l'augmentation de la production de vapeur, mais aussi par la diminution du personnel, des frais d'emmagasinage, des frais de réparation des foyers et des chaudières.

Mais il faut compter avec les variations du cours qui peuvent renverser assez rapidement les conditions économiques permettant de chauffer les locomotives au pétrole. C'est ainsi que le prix du pétrole a monté de 18 à 31 francs à Tzaritzin en deux ans. La houille du Donetz, qui atteindra Tzaritzin par une ligne partant de Tikhoretskaia, pourra donc lutter avec grand avantage avec le naphte, et la Compagnie Griazi Tzaritzin peut être amenée à devoir transformer son matériel en vue de l'emploi de la houille.

Applications en Angleterre et en France. — Le principal avantage des procédés de chauffage mixte au pétrole est qu'ils permettent de revenir instantanément au charbon, car il ne peut être question de

substituer purement et simplement au charbon le combustible liquide dans des pays producteurs de charbon et éloignés des gisements de pétrole, comme la France et l'Angleterre.

Une question de prix intervient tout d'abord. Supposons, par exemple, que l'on brûle du charbon à 20 francs la tonne. Les machines-express du Great-Eastern R. (Angleterre) consomment, en moyenne, 10 kilogrammes par kilomètre, si elles marchent au charbon, et 3 kilogrammes de combustible liquide avec $3^{kg},500$ de charbon, si elles marchent au combustible mixte. En admettant que les dépenses de manutention soient les mêmes dans les deux cas (ce qui n'est pas exact, car les manutentions des huiles sont moins coûteuses que celles du charbon), le prix du combustible liquide doit être tel que la dépense ne soit pas plus élevée dans le second cas que dans le premier, c'est-à-dire qu'il faut, p étant le prix limite par tonne cherché pour le combustible liquide, que

$$3^{kg} \times \frac{p}{1000} + 3^{kg},500 \times \frac{20}{1000} \leq 10 \times \frac{20}{1000},$$

d'où :

$$p \leq \frac{20}{3}(10 - 3,5),$$

$$p \leq \frac{20}{3} \times 6,5,$$

$$p \leq 43^{f},35 \text{ par tonne.}$$

On obtiendrait une limite plus basse, si, au lieu de prendre le gros charbon pour terme de comparaison, on prenait le prix moyen d'une Compagnie employant des menus à 15 francs.

En France, le mazout de Russie revient à 185 francs la tonne ; ce produit coûte environ 3 francs la tonne à Bakou, les 182 francs restant représentent le fret, les droits d'entrée, le logement, les manutentions[1] ; on ne peut donc pas songer à l'employer d'une

1. Le prix de 185 francs peut se décomposer à peu près comme suit :

	La tonne.
Valeur du produit à Bakou	3 fr.
Transport de Bakou à Batoum par wagon-citerne	25
Manutention à Batoum	1
Fret de Batoum en France (par bateau-citerne)	22
Droit de douane	90
Logement	25
Déchargement et mise en fûts, pertes en cours de route, change, courtage, frais divers, bénéfice, etc.	19
	185 fr.

manière courante comme combustible, tant que le droit de 90 francs par tonne à l'entrée en France subsistera et que l'importation n'aura pas pris, du fait de nouveaux débouchés, un développement suffisant pour amener un abaissement du fret. Celui-ci est, d'ailleurs, très élevé en raison des conditions du transport par les bateaux-citernes, qui sont spécialement disposés pour le transport du pétrole et ne peuvent, en raison de cette disposition spéciale, prendre de chargement de retour; c'est une cause d'augmentation notable du fret par tonne de résidu importé, à laquelle les importateurs de résidus d'Amérique cherchent à échapper en disposant les citernes des bateaux de telle sorte qu'elles puissent recevoir un chargement de retour. On obtiendrait, ainsi, un abaissement du fret, mais il est peu probable qu'il soit suffisant pour rendre abordable le prix du combustible liquide. En effet, les résidus d'Amérique se vendent, en France, 5 et 6 francs plus cher que les mazouts russes; en admettant que l'on gagne cette différence en abaissant le fret, on n'arrive qu'à la parité des prix; or le produit russe, comme on l'a vu plus haut, ne peut pas économiquement être employé pour le chauffage des locomotives.

Les réseaux qui sont situés dans le plein cœur d'une région houillère, comme le Midland Railway (Angleterre), n'ont pas intérêt à adopter ou, du moins, à développer le chauffage au pétrole en dehors de certains cas particuliers.

D'après M. Aspinall, en admettant qu'on brûle de la houille du Lancashire, à 11 francs la tonne environ, le combustible liquide ne devrait pas coûter plus de 0 fr. 023 le litre pour que son emploi fût avantageux. Dans le Sud de l'Angleterre, où la houille est plus chère, les conditions sont plus favorables à l'emploi du pétrole.

Dans l'état actuel des marchés français et anglais, l'emploi courant du combustible liquide ne se présente donc pas encore dans des conditions pratiques ni avantageuses; toutefois, appliqué dans certaines limites et à certaines catégories de machines, il permet, grâce à sa combustion rapide et à la vaporisation abondante qui en résulte, de parer à diverses difficultés de la marche, notamment de franchir les longues rampes sans épuiser la réserve de vapeur, d'alimenter dans les moments où l'on hésite à le faire, en raison de l'état du feu et de la pression, de vaincre un surcroît momentané de résistance auquel un vent violent peut donner lieu.

En outre, étant donné la grande élasticité que ce mode de

chauffage confère aux générateurs de vapeur, des applications utiles pourraient en être faites aux chaudières de machines fixes à fonctionnement intermittent, telle que les machines d'alimentation des réservoirs des gares de chemin de fer pour lesquels le temps et la dépense d'allumage et de mise en pression sont hors de proportion avec les éléments correspondants du travail effectif. On pourrait également se servir du pétrole pour l'allumage des locomotives, car il semble devoir permettre une mise en pression plus rapide que le procédé actuel. On peut encore concevoir que le pétrole serait utilement appliqué aux locomotives de manœuvre, catégorie de machines dont le travail est généralement intermittent et pour lesquelles il est utile de pouvoir faire monter ou laisser tomber la pression suivant le service à faire.

Applications en Californie. — Depuis quelques années, la production du pétrole s'est développée en Californie à un degré tel que les chemins de fer de ces régions ont pu considérer comme possible l'emploi exclusif du combustible liquide dans les locomotives. Les essais ont été tentés dès qu'on a pu se procurer le pétrole à des prix permettant de lutter avec le charbon, dont le prix s'élève, dans certains districts de la Californie, à 35 et 40 francs de tonne. On a développé l'exploitation des gisements de pétrole de la province de Santa-Fé, et on dispose maintenant d'une production considérable qui justifie l'emploi normal du combustible liquide sur les locomotives.

Le Santa-Fé Railroad possède plus de 200 machines chauffées aux résidus de pétrole et transforme toutes ses machines ; la consommation de pétrole sur cette ligne atteindra annuellement plusieurs millions de barils dont une grande partie sera fournie par les puits dont la compagnie est propriétaire.

Le Southern Pacific Railroad possède 95 machines munies de brûleurs et achève la transformation de son matériel ; il consommera près de 6 millions de barils de pétrole.

L'International and Great Northern Railroad, le Los Angeles and Salt Lake Railroad, le Northern Pacific Railroad se sont engagés dans la même voie, de même que les chemins de fer de la République Argentine dans l'Amérique du Sud.

On se contente d'ajouter aux locomotives un brûleur et de garnir de briques réfractaires la base du foyer et une ou plusieurs parois de la boîte à feu, suivant la disposition des brûleurs.

Le réservoir à pétrole est placé au centre du tender et entouré par

les caisses à eau. On le munit, à la partie supérieure, d'une soupape de sûreté destinée à neutraliser une forte pression de gaz.

Sur le Southern Pacific, avec de l'huile à 16° Baumé, on a obtenu les résultats suivants :

	PÉTROLE	HOUILLE
Kilomètres parcourus	360	360
Pression	9kg,3	9kg,1
Eau vaporisée	29.977 litres	27.149 litres
Huile brûlée	343 litres	»
Kilomètres parcourus par tonne	119	90
Kilogrammes de combustible consommés	2.740	3.648

Sur l'International and Great Northern Railroad, on a mis en essai 2 locomotives à 10 roues accouplées de 83 tonnes sur une ligne de 240 kilomètres de longueur; les parcours ont été pour chaque machine de 5.348 kilomètres.

	CHARBON	PÉTROLE
Combustible brûlé	182 tonnes	705 barils
Prix du combustible	14f,10 la tonne	2f,83 le baril
Prix du combustible par kilomètre	0f,42	0f,37
Kilomètres parcourus par tonne de charbon	29	»
Kilomètres parcourus par baril de pétrole	»	7,6

L'économie due à l'emploi du pétrole a été de 0 fr. 05 par kilomètre, soit 22 0/0, y compris les frais d'entrepôt et de manutention du pétrole.

Applications aux tunnels. — La ventilation des longs tunnels étant toujours difficile, l'emploi du chauffage au pétrole dans les souterrains a reçu quelques applications intéressantes, notamment sur le chemin de fer de l'Arlberg (Autriche). C'est la seule application faite jusqu'ici en Autriche, bien que ce pays soit assez voisin des gisements de pétrole. Cela tient probablement à ce que le Gouvernement est lui-même exploitant de mines de charbon, ce qui est également le cas de quelques autres Sociétés autrichiennes de chemins de fer et de navigation.

On est parti de ce principe que, pour produire 1.000 kilogrammes de vapeur, un charbon dégagera 523 kilogrammes d'acide carbonique tandis que du pétrole, formé de 73 de carbone et 27 d'hydrogène, n'en dégagera que 201 kilogrammes. Il en résulte un avantage pour

l'emploi du pétrole dans le cas d'une ligne ou d'une section de ligne en tunnel sur une grande longueur. Des essais ont été faits également pour le chauffage au pétrole des locomotives du Métropolitain de Londres, en grande parti souterrain. Mais, étant donné le nombre considérable des trains qui passent sur cette ligne, la traction électrique paraît être la vraie solution.

L'administration des chemins de fer roumains emploie, pour chauffer ses locomotives, un mélange de lignite et de pétrole.

Emploi sur les navires. — Avant de préconiser définitivement l'emploi des huiles minérales pour le chauffage des chaudières de navires, on a dû s'assurer que ce combustible n'offrait pas de danger. La sécurité que peuvent offrir les combustibles liquides a fait notamment l'objet d'expériences intéressantes entreprises par M. Tweddle.

E. Tweddle a reconnu que l'huile résiduelle, dont le point d'inflammabilité varie de 121° à 149°, est la plus convenable pour la combustion sur les steamers. Elle est emmagasinée dans les réservoirs situés au-dessous de la ligne de flottaison, et un trop grand échauffement n'est pas à redouter. Dans une huile de cette catégorie, on peut plonger un fer rougi au feu ou jeter des pelletées de charbon incandescent, sans risquer qu'elle ne s'enflamme.

Le Gouvernement français a entrepris également des essais pour s'assurer de la possibilité d'employer le pétrole comme combustible sur les navires. Un canon à tir rapide fut tiré, à 100 mètres de distance, sur des fûts de pétrole chargés sur un radeau et protégés par des tôles d'acier semblables à celles des parois d'un torpilleur; les fûts prirent feu, et l'on en conclut que le danger du pétrole comme combustible, même pour les torpilleurs, était démontré. M. Tweddle, persuadé que cet essai démontrait seulement que l'espèce d'huile employée ne pouvait convenir aux usages de la Marine, entreprit, en 1892, des essais analogues en se servant d'un canot de campagne et en tirant des obus sur des fûts de benzine, de kérosène et d'huile minérale brute. A des distances variant de 500 à 700 mètres, les obus enflammèrent ces liquides, d'où se dégageaient des vapeurs inflammables.

On essaya ensuite une huile ayant un degré d'inflammabilité de 115°; les obus et les shrapnells ne firent que perforer les fûts sans enflammer le liquide répandu.

En faisant exploser dans un réservoir rempli de cette huile une boîte de cartouches à poudre ou de la dynamite, il n'y eut que des projections sans inflammation.

Le pétrole de qualité supérieure, c'est-à-dire ayant un point d'inflammabilité assez élevé, n'offre donc aucun danger. Il présente même, sur les navires, plus de sécurité que le charbon, puisqu'il n'est pas sujet à la combustion spontanée, accident fréquent, le nombre des cas d'échauffement suivis d'incendie variant de 1,4 à 2 0/0 par an.

On a prétendu que la substitution d'un combustible liquide au charbon diminuerait la protection des navires de guerre, les soutes à charbon étant aménagées de façon que leur contenu protège les parties vitales. On peut objecter que cette protection n'est efficace qu'autant que les soutes sont pleines.

Il est aujourd'hui avéré que tous les accidents arrivés sur des navires chauffés au pétrole sont dus à la malveillance ou à un manque absolu de précautions. Ces précautions consistent à éviter la formation dans les réservoirs de vapeurs qui, mélangées à l'air dans certaines proportions, peuvent faire explosion avec une grande violence.

Facilités de ravitaillement. — Le ravitaillement en charbon d'un navire nécessite, en général, son accostage à un quai, à un appontement, ou son immobilisation sur une rade et, en quelque sorte, la suspension de la vie ordinaire du bord, car une grande partie du personnel est employée au transbordement et à l'arrimage du combustible.

On a fait diverses expériences pour le ravitaillement en pleine mer, et il a été reconnu qu'avec un peu de houle l'opération devient très difficile, sinon impossible, par suite de la difficulté de maintenir les deux bâtiments à assez faible distance pour que l'appareil transbordeur puisse les mettre en relation. Le charbonnage à la mer n'est possible que par un très beau temps, et encore il est relativement lent, tout en demandant des installations très compliquées, beaucoup de dépenses et un nombreux personnel.

Les opérations du ravitaillement seraient, au contraire, très simples, si le combustible était à l'état liquide. Il serait alors toujours possible de mettre en relation les cales et soutes soit avec celles d'un autre navire placé bord à bord par beau temps, soit avec un chaland-citerne remorqué en cas de grosse mer.

Le bateau-citerne ne pourrait courir aucun risque d'abordage, la distance qui le sépare du navire pouvant varier dans des limites aussi grandes qu'on le voudra et suivant lesquelles on réglerait le développement des tuyaux ou manches de refoulement des pompes. Ces

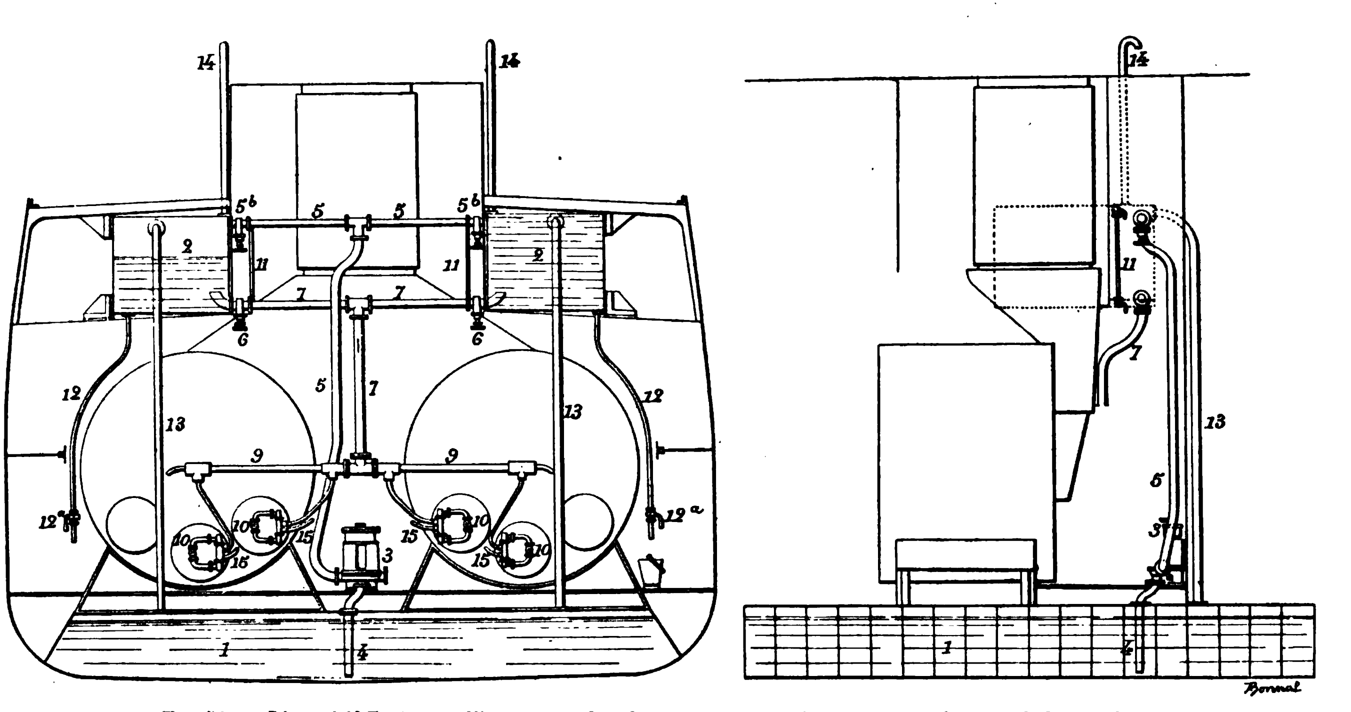


Fig. 54. — Dispositif Fortescue Flannery et Boyd pour l'emmagasinage du pétrole à bord des navires.

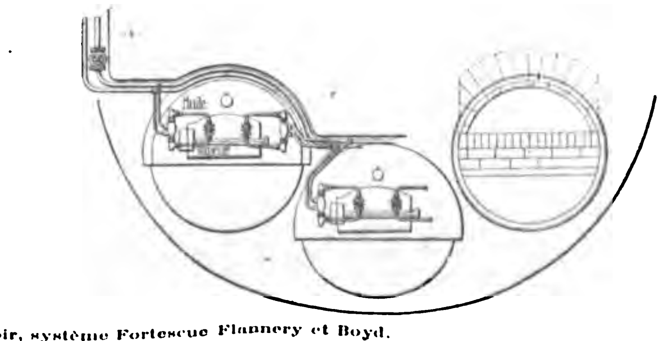


Fig. 55. — Coupe d'un bateau réservoir, système Fortescue Flannery et Boyd.

tuyaux peuvent toujours être soutenus de proche en proche par des flotteurs, et pourvu que le mou laissé soit suffisant et maintenu par une manœuvre appropriée des deux bâtiments, il n'y aurait pas à craindre de tension pouvant provoquer la rupture.

Une puissante pompe, analogue à celles dont disposent tous les navires, suffirait pour faire en quelques heures le plein des soutes.

Du reste, ce procédé n'est autre que celui que l'on emploie dans certains arsenaux pour ravitailler en eau douce les bâtiments sur rade.

On réaliserait également une importante économie sur les installations à terre, car une grande batterie de réservoirs d'huile, comme celles que le Gouvernement allemand a fait établir à Wilhelmshafen, à Kiel et à Dantzig, est plus économique à établir que la machinerie compliquée nécessaire pour desservir un grand chantier de combustible solide.

D'autre part, le combustible liquide se conserve pendant plusieurs années sans altération dans des réservoirs. Cette dernière propriété est toutefois controversée par des exploitants qui ont constaté dans les réservoirs un épaississement du pétrole qui le rend impropre à la pulvérisation. Il est peut-être bon de ne pas garder des stocks importants pendant un temps exagéré.

A bord des navires, on peut loger l'huile dans les water-ballast, d'où on l'envoie dans les réservoirs de service qui alimentent les foyers, ainsi que le montrent les figures 54 et 55. Quand les water-ballast sont vides d'huile, on les remplit d'eau, si besoin est, pour la stabilité du navire. On peut même, dans certains cas, transporter l'huile d'une extrémité à l'autre du navire par un simple jeu de robinets-valves.

Autres avantages d'emploi.— L'emploi du pétrole présente d'autres avantages. La suie et les cendres, qui s'échappent de la cheminée, nuisent beaucoup à la propreté des navires ; il faut dépenser un temps appréciable pour le nettoyage et la peinture des ponts et des ouvrages supérieurs, tandis qu'un navire employant le pétrole comme combustible peut être facilement maintenu très propre. La suppression de la fumée a, entre autres avantages, celui de permettre aux torpilleurs et autres bâtiments de se mouvoir de jour ou de nuit sans attirer l'attention de l'ennemi par un panache de flamme ou de fumée.

La température des chaufferies est inférieure à celle qui se développe dans les salles de chaudières, quand on chauffe au charbon, parce

que les portes des foyers n'ont pas besoin d'être ouvertes et qu'il n'y a pas de cendres à enlever. Le travail du chauffeur est donc facilité dans une notable proportion.

Enfin, quand on considère les volumes, on constate qu'une tonne de charbon ordinaire occupe en cale un volume de $1^{m^3},15$, ce qui donne 870 kilogrammes de charbon logés par mètre cube de soute. Dans 1 mètre cube de soute, on peut emmagasiner 910 kilogrammes de combustible liquide équivalant à $1.785 \times 910 = 1.624$ kilogrammes de houille, soit 754 kilogrammes de plus qu'en emmagasinant de la houille crue. En pratique, on peut même admettre qu'une tonne d'huile remplace près de 2 tonnes de charbon et, si l'on tient compte de l'arrimage difficile des morceaux de houille, une tonne d'huile occupe 40 à 50 0/0 seulement de l'espace occupé par une tonne de houille.

En dehors des avantages généraux énumérés ci-dessus, nous en indiquerons quelques autres encore.

En cas de fuite de vapeur, la sortie du personnel s'effectue normalement sur les navires chauffés au pétrole et le personnel ne souffre plus de la claustration qui résulte du chauffage en vase clos.

Il y a diminution des pertes de chaleur par la cheminée, résultant de la propreté des tubes de chaudière et de la moindre quantité d'air qui pénètre dans la chambre de chauffe pour une consommation donnée de combustible. Avec la houille, on peut perdre 15 à 20/0 de combustible par la fumée, les poussières et les gaz non brûlés qui s'échappent de la cheminée et par le charbon qui tombe à travers la grille. On arrive, au contraire, à une combustion pratiquement complète du pétrole.

La distribution de la chaleur dans la chambre de combustion est meilleure, puisque les portes n'en sont jamais ouvertes et, comme conséquence, le rendement est meilleur.

Le combustible liquide encrasse beaucoup moins les foyers que le charbon, et fatigue beaucoup moins les chaudières. Le naphte protégeant les métaux contre l'oxydation, l'entretien des soutes et des appareils divers est facile.

Les frais de manutention du combustible sont réduits, puisque tout se fait mécaniquement ou par la gravité, tandis que le combustible solide exige une main-d'œuvre importante.

Il y a suppression de l'emploi des outils à feu et des barreaux

de grilles et, par suite, moins de dommages à craindre pour les revêtements des foyers et des soles.

Le réglage des feux est facile et rapide, depuis l'allure lente jusqu'à l'allure la plus rapide de combustion; le chef de quart peut régler seul les feux suivant les diverses allures de la machine.

Il y a absence de soufre et d'autres impuretés et, par suite, durée plus longue des tôles. La puissance de vaporisation pour une même surface de chauffe est augmentée dans une forte proportion.

Enfin, l'emploi du combustible liquide permet de modifier rapidement l'intensité des feux, ce qui est important pour les navires de guerre auxquels on demande un travail tout à fait différent de celui des paquebots dont l'allure est, en général, uniforme.

Malgré ces divers avantages l'emploi du pétrole comme combustible sur le navire est resté limité surtout aux pays de production.

Les brûleurs à pétrole présentent, en effet, divers inconvénients, notamment celui-ci : leur débit est un peu faible et cela force à augmenter le nombre des brûleurs d'une manière exagérée, si l'on veut obtenir une production de vapeur intensive dans de grandes chaudières.

La Russie et les États-Unis sont jusqu'à présent les seules contrées qui puissent produire assez de pétrole pour en garantir l'adoption comme conbustible sur les navires. On devra, dans les autres contrées, prévoir le cas où ce liquide ne serait pas fourni en quantité suffisante et d'une façon assez régulière. C'est pour cette raison que M. Tweddle recommande d'aménager les foyers de telle sorte qu'on puisse, sans y apporter de grandes modifications, y brûler à volonté du charbon ou du pétrole. Il suffira, pour cela, de laisser en place les barreaux de grille et de les recouvrir de charbon ou de briques. Quant aux brûleurs à huile, ils seront montés sur pivots de façon à pouvoir, dans le cas d'emploi du charbon, être simplement remisés en dehors, sur le côté du foyer.

Toutefois, dans ces dernières années, la découverte de grands gisements de pétrole en Chine et dans les îles de la Sonde fait prévoir que ce combustible pourra, jusqu'à un certain point, remplacer le charbon, qui revient si cher, dans les mers lointaines surtout.

On pourra donc étendre son emploi sur la route maritime de Suez à Yokohama viâ Colombo, Bombay, Calcutta, Singapore, Bangkok, Hongkong, Nagasaki et Kobé, où l'on est encore exposé à trouver aujourd'hui de mauvais combustibles.

En Amérique, grâce à l'huile du Texas, on peut entrevoir l'application du chauffage au pétrole aux navires fréquentant l'Atlantique. Des dépôts de ce produit sont en cours d'installation à Southampton, Liverpool, Douvres et le Havre.

Briquettes de pétrole. — De l'avis de plusieurs spécialistes, rendre le pétrole solide, c'est lui enlever toutes ses qualités pour lui donner les imperfections que l'on reproche au charbon et même lui en ajouter de nouvelles, car le pétrole solidifié, qui est plus ou moins mou, coule au contact de la chaleur, s'étale en nappes visqueuses sur la grille et est alors moins apte que le charbon à laisser arriver l'air.

Il ne faut pas oublier non plus que le pétrole, même liquide, ne brûle qu'à la condition d'être finement pulvérisé, et qu'en outre l'emploi du pétrole solidifié donne lieu à une perte de calorique due à la quantité d'énergie qu'il absorbe pour passer de l'état de carbone solide à l'état gazeux. Ainsi, par exemple, pour le carbone amorphe, cette absorption est de 3.500 calories ; on n'a plus alors que 11.500 calories moins 3.500 calories, soit 8.000 calories.

Cependant beaucoup de tentatives ont eu lieu dans cet ordre d'idées, notamment à Saint-Étienne, où une Société fabrique des briquettes de pétrole qui dégagent, paraît-il, 12.000 calories et ne donnent que 2 à 3 0/0 de résidus sans fumée.

CHAPITRE X

BRULEURS A PÉTROLE

Brûleurs pour chaudières fixes. — Brûleur Bachy. — Brûleur Williams. — Brûleur de l'Hydroleum Fuel C°. — Appareils russes. — Appareils américains. — *Applications à la métallurgie.* — Applications aux forges. — Applications aux divers fours métallurgiques. — Application à la métallurgie du cuivre. — *Brûleurs pour locomotives.* — Brûleurs Urqhardt. — Brûleur Karapetof. — Brûleur Brandt. — Brûleur Fvardofski. — Brûleur Artenef. — Brûleurs divers. — Essais en France. — Foyer des Forges et Chantiers de la Méditerranée. — Appareil Santenard. — Appareil Vétillard-Scherding. — Chaudière de locomotive système Seigle.

Bruleurs pour chaudières fixes. — Dans les chaudières fixes qui, en général, doivent produire un volume constant et régulier de vapeur, la question du réglage de la quantité d'huile à injecter a beaucoup moins d'importance que dans les locomotives ou sur les navires. On peut donc adopter pour les installations fixes un type d'injecteur très simple.

On a reconnu depuis longtemps qu'il y avait avantage à employer la vapeur pour la pulvérisation, de préférence à l'air comprimé, qui semblait devoir donner une meilleure combustion. La vapeur est, en somme, beaucoup mieux utilisée dans l'injecteur qu'elle ne le serait dans une pompe devant comprimer de l'air; il y a là un avantage économique qui compense très largement le petit avantage du mélange de l'air avec le mazout.

Ainsi donc, le pulvérisateur d'une chaudière fixe doit être à vapeur et aussi simple que possible, pour éviter les engorgements et faciliter le nettoyage.

En France, Sainte-Claire Deville (1868) a imaginé un brûleur qui a été quelque peu employé. L'appareil est surtout bon pour les laboratoires. M. Audoin a cherché une application pour les fours à reverbère.

D'autres brevets ont été pris pour des brûleurs à pétrole, notam-

ment ceux de Richardson (1864), Mac Kine (1865), Verstraet (1868). Kameski (1869), Wagenknecht (1878), Paterson (1878). Mais tous ces appareils ont été abandonnés dès le début, parce qu'ils donnaient une combustion trop incomplète du pétrole.

L'appareil d'Allest qui sera décrit pour les chaudières marines (page 256) peut s'appliquer simplement et sans beaucoup de dépenses à une chaudière quelconque ; il suffit de démonter les grilles et accessoires, de remplacer la façade du foyer par une sole en briques portant deux trous de regard et un autre trou, à travers lequel passe le pulvérisateur dans le foyer; on divise le foyer en deux parties par une sole en briques, sur laquelle le naphte, après sa pulvérisation, vient se heurter pour mieux se diviser encore ; on recouvre d'une couche de briques réfractaires le ciel de foyer, afin d'assurer dans celui-ci un magasin de chaleur capable de brûler complètement les particules qui auraient pu échapper à la combustion.

Pour éviter l'encrassage des tubes d'ajutage et la dépense de vapeur nécessaire à la pulvérisation ainsi que les difficultés de mise en marehe avant que la vapeur ait atteint une pression convenable, on a cherché à supprimer les brûleurs à vapeur et à les remplacer par un système de combustion plus direct et plus complet des hydrocarbures.

Brûleur Bachy. — Nous citerons notamment le foyer dit à glissières de M. Bachy. Le liquide combustible n'est pas injecté en filets séparés, mais étendu en nappe imprégnant une bande tissée ou feutrée, analogue à une longue et large mèche qui aurait été développée horizontalement, et, sous l'action de l'air du foyer, il vient brûler comme le ferait l'huile d'une lampe, en formant une vaste lame de feu dont une disposition spéciale permet de régler l'étendue et l'intensité.

L'appareil peut être placé, sans aucun travail préliminaire, dans le foyer de tous les générateurs. Il fonctionne de la manière suivante :

Une plaque rainurée reçoit le pétrole venant du réservoir. Un feutre placé sur la plaque s'imbibe de pétrole. Une glissière à rouleau se meut au-dessus du feutre, guidée dans sa course d'avant en arrière du foyer.

On allume le feutre comme on le ferait d'une mèche de lampe ; on jette une poignée d'étoupe enflammée sur le feutre découvert en grand et en un instant la flamme a son maximum d'intensité. La glissière à rouleau permet de réduire la surface enflammée suivant les besoins du chauffage. En poussant la glissière à fond de course, on obtient l'extinction immédiate.

Il est évident que ce foyer est plus simple que les brûleurs pulvérisateurs, moins coûteux, qu'il en a tous les avantages sans en avoir les inconvénients.

Une chaudière semi-tubulaire chauffée au charbon anglais de première qualité a été mise en pression à 7 kilogrammes en deux heures et demie ; la même chaudière munie d'un foyer Bachy a été mise en pression à 7kg,02, en quarante-cinq minutes.

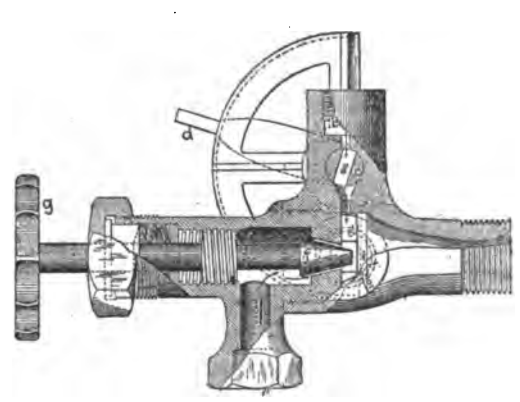


Fig. 56. — Brûleur à pétrole Williams.

Brûleur Williams. — Dans le brûleur Williams (*fig.* 56), le pétrole arrive en *b* par un robinet de réglage *c* au droit de la vapeur amenée en nappe annulaire par le pointeau *g* du tuyau *e*. Il y a appel d'air chaud latéral par *i*.

M. Denton a fait avec le brûleur Williams des expériences de consommation qui ont donné les résultats suivants :

	PÉTROLE	CHARBON
Fraction de la chaleur totale de combustion utilisée en production de vapeur.	78,5 0/0	71,4 0/0
Vaporisation de l'humidité du combustible et combustion de l'hydrogène perdue à surchauffer la vapeur d'eau.	6,5	2,3
Gaz secs de la cheminée	9,7	16,4
Cendres	»	6,3
Rayonnement et combustion imparfaite	4,7	3,4

Brûleur de l'Hydroleum Fuel C°. — La Hydroleum Fuel C° de Londres construit un brûleur du type à aiguille (*fig.* 57) avec jet de vapeur annulaire déterminant une aspiration ; le vide produit dans le tourbillon annulaire du jet en empêche la combustion dès son entrée dans le moufle en briques réfractaires jusqu'à ce qu'il vienne se briser sur la petite muraille d'avant de ce moufle dont on règle la position avec soin.

Dans un essai fait sur une chaudière à tubes d'eau Hornsby, on a vaporisé, ramenés à 100°, 13kg,47 par kilogramme de goudron de gaz à l'eau au lieu de 6kg,72 par kilogramme de coke avec la même chaudière.

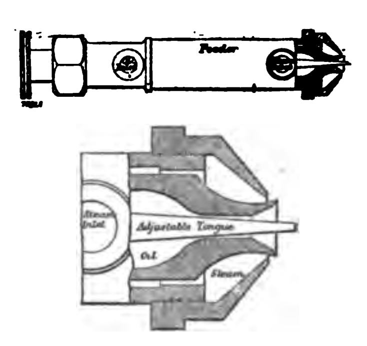


Fig. 57. — Injecteur à pétrole de l'Hydroleum Fuel C°.

Appareils russes. — D'après M. Leproux, Ingénieur au corps des Mines, on emploie en Russie surtout des pulvérisateurs à vapeur, tels que les appareils d'Issaïef et de Béreznef (*fig.* 58). Ils se composent de deux boîtes circulaires plates, opposées l'une à l'autre, et fermées complètement sauf suivant un segment commun. Dans la boîte supérieure coule le naphte, venant d'un réservoir placé à 2 ou 3 mètres de hauteur; la vapeur arrive dans la boîte inférieure et le naphte coule sur la lame de vapeur, qui l'entraîne.

Les pulvérisateurs Kroupka ou Baschanine, à couronnes circulaires et à aiguilles, ont donné de moins bons résultats. Il faut citer aussi les pulvérisateurs annulaires Mirzoevitch, Dunder, Benkston, Choukof, Bielikof, Daniline ainsi que l'appareil du Standard russe. Un des avantages du pulvérisateur Issaïef est son rendement à peu près constant.

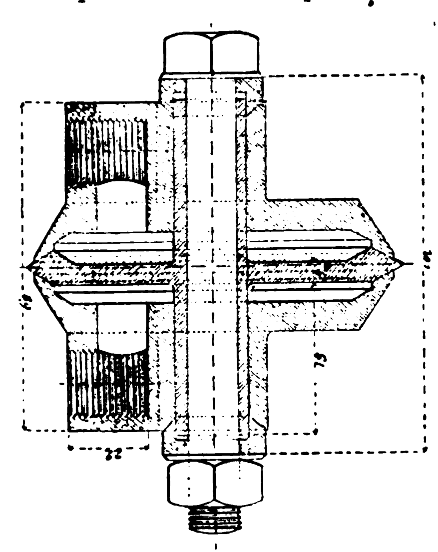


Fig. 58. — Appareil Bereznef.

En effet, si l'on admet trop de mazout, la combustion sera incomplète, et il y aura production de fumée noire. Si, au contraire, on admet trop de vapeur, la combustion sera bonne, mais on consommera trop de vapeur. A une quantité donnée de mazout correspond, pour chaque type de pulvérisateur, une quantité donnée de vapeur. Le rapport de ces

deux quantités est ce qu'on nomme le rendement de l'appareil.

Pour l'injecteur Issaïef, ce rendement reste constant entre 50 kilogrammes et 100 kilogrammes de naphte à l'heure. L'appareil consomme à peu près $0^{kg},4$ de vapeur à 4 ou 5 atmosphères, par kilogramme de naphte

Quel que soit d'ailleurs l'injecteur réalisé, on doit surtout étudier la forme et les dispositions intérieures du foyer. Le chauffage au naphte peut, moyennant cette restriction, être appliqué à tous les types de chaudière, aussi bien aux chaudières à bouilleurs qu'aux chaudières multitubulaires. Il faut toujours que la chambre de combustion soit telle que la combustion soit bien complète, que la température soit aussi uniforme que possible, et que le jet de flamme produit par le naphte pulvérisé ne se brise pas contre une partie essentielle du foyer. Le type est d'ailleurs à étudier pour chaque nature de chaudières, et cette étude donne toujours lieu à de nombreux tâtonnements.

Nous donnons dans le tableau de la page suivante les résultats d'essais faits avec un soin minutieux, par M. Keller, directeur de la fabrique d'indiennes Zündel, à Moscou.

Appareils américains. — Parmi les appareils américains les plus intéressants nous citerons les injecteurs de l'American Crude Oil Burner C° de Chicago et ceux de C. A. Hammel de Los Angeles (Californie).

Dans le foyer à pétrole de l'Economy Manufacturing C° (*fig.* 59, 60 et 61) le vaporisateur de pétrole consiste en une série de tubes C à raccords D protégés par des tubes en fonte E′ avec matelas de terre réfractaire *e′*. Le pétrole est amené du réservoir par une tuyauterie Q′, un éjecteur R′, un tuyau K et finalement entre dans les brûleurs G. La vapeur est fournie à l'éjecteur par un tuyau *r′* relié à *r* par une chambre de vapeur R. Le pétrole est fourni par la pompe O au réservoir M dans lequel de l'eau est admise sous pression. Elle flotte à la surface de l'eau et est forcée par la pression hydrostatique dans le tuyau Q^3 d'où elle est aspirée par les injecteurs R^1, R^2 dans les tuyaux Q^1, Q^2 ; finalement elle arrive à un état de division très complet dans les tuyaux K et L.

Dans le brûleur Coulthard, le pétrole arrive au brûleur par une soupape chargée d'une tige coiffée d'un manchon guidé ; ce manchon est poussé de bas en haut par un ressort réglable au moyen d'un écrou et de bas en haut par le bouton d'une membrane soumise à la

		NUMÉROS DES ESSAIS			
	I 3 PULVÉRISATEURS BÉREZNEF	II 4 PULVÉRISATEURS KROUPKA	III PULVÉRISATEUR BÉREZNEF	IV 3 PULVÉRISATEURS BÉREZNEF	V 3 PULVÉRISATEURS BASCHANINE
Durée de l'essai	12^h	$10^h\,30$	$10^h\,30$	7^h	9^h
Consommation totale de naphte	2.193^{kg}	$795^{kg},7$	1.104^{kg}	1.183^{kg}	1.183^{kg}
Pression moyenne à la chaudière	$4^{atm},5$	5^{atm}	$4^{atm},5$	5^{atm}	$4^{atm},75$
Température moyenne de l'eau injectée	41°	38°	46°,6	19°,2	20° 2
Quantité d'eau injectée (litres)	31.096^l	11.912^l	16.232^l	16.284^l	16.832^l
Poids d'eau injectée	29.140^{kg}	11.122^{kg}	15.071,4	15.805^{kg}	16.310^{kg}
Kilogrammes de vapeur produits en partant de la température d'injection	$14^{kg},17$	$14^{kg},9$	$14^{kg},7$	$13^{kg},76$	$14^{kg},22$
Kilogrammes de vapeur produits en partant de zéro	$13^{kg},28$	$13^{kg},9$	$13^{kg},65$	$13^{kg},36$	$13^{kg},78$
Naphte par heure et par mètre carré de surface de chauffe	$0^{kg},987$	$1^{kg},131$	$1^{kg},569$	$1^{kg},469$	$1^{kg},143$
Vapeur par heure et par mètre carré de surface de chauffe	$13^{kg},1$	$15^{kg},81$	$21^{kg},42$	$19^{kg},633$	$15^{kg},758$
Température de l'eau sortant des réchauffeurs	120°	85°	87°,3	68° 9	64° 6
Température des gaz à l'entrée de la cheminée	132°	130°	139° 1	90°	80°
Température de l'air ambiant de la batterie	27°	27°	20°	27°	26° 8
Dépense de vapeur pour 1 kilogr. de naphte	»	0,422	0,364	»	»
Surface de chauffe	185^{mq}	60^{mq}	60^{mq}	115^{mq}	115^{mq}

pression de la chaudière. Grâce à ce dispositif, la soupape d'admission du pétrole s'ouvre ou se ferme dès que la pression monte ou baisse.

Le foyer au pétrole Brown comporte des tubes plongeant dans le foyer par un bout et communiquant par l'autre extrémité avec un réservoir. Le pétrole est chassé du réservoir au moyen de la vapeur

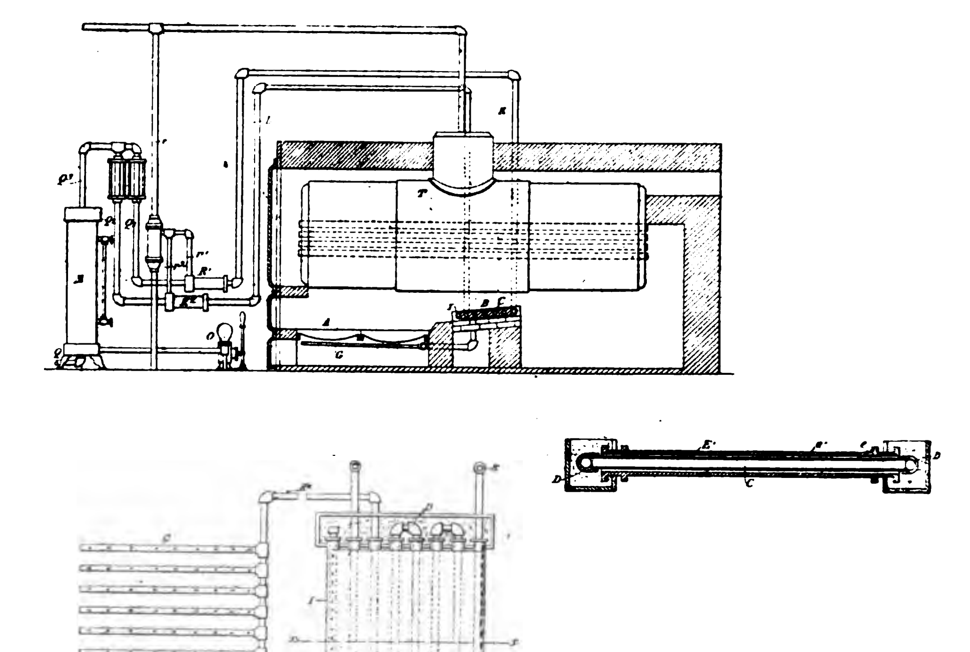


Fig. 59, 60, 61. — Foyer au pétrole de l'Economy Manufacturing C°

sous pression, engendrée dans les tubes du foyer précité. On forme ainsi un mélange de vapeur et de pétrole qui est saisi avant son entrée dans le foyer par une veine d'air amenée par un ajutage.

La Lancashire Steam Motor C° construit un foyer à pétrole système Serrurier dans lequel le pétrole arrive au foyer au travers d'une soupape chargée par la pression de la vapeur sur une membrane, de sorte que la pression de la chaudière régit l'admission du pétrole et reste ainsi à peu près constante. La pression de régime se règle par

des écrous qui permettent de faire varier la longueur de la tige qui transmet à la soupape la charge du diaphragme.

Dans le foyer à pétrole Thurman, le pétrole arrive par un trou dans un canal qui entoure une aiguille à quadrant. La vapeur ou l'air comprimé arrivent par une autre tubulure dans une chambre concentrique annulaire également à quadrant. Enfin on fait arriver vers l'extrémité du brûleur par une troisième enveloppe annulaire de l'air chauffé par le foyer. On peut ainsi régler automatiquement le pétrole et la vapeur et amorcer le feu avant la mise en pression au moyen d'un jet d'air comprimé.

Dans le foyer Billow, le pétrole est fourni par deux injecteurs placés côte à côte. Le pétrole passe d'abord par un réchauffeur, puis pénètre dans le pulvérisateur où il se rencontre avec des jets d'air et de vapeur. Le mélange d'air et de vapeur achevé par les ailettes d'un tube saisit le pétrole au sortir du tube central et le lance dans le foyer au travers d'un complément d'air amené par des orifices réglables à volonté. Des volants spéciaux permettent de régler les arrivées de pétrole et de vapeur.

Applications a la métallurgie. — L'emploi du pétrole comme combustible propre aux opérations métallurgiques semble prendre une grande extension depuis plusieurs années. Des applications ont été faites d'abord pour la forge, puis successivement pour le traitement du fer et de l'acier. Des fours de traitement du cuivre ont aussi été construits.

Applications aux forges. — M. Tweddle a signalé les excellents résultats qui ont été obtenus dans les forges par l'application des combustibles liquides. Le fer est plus rapidement chauffé, et il est plus propre que par les procédés ordinaires. Dans l'installation d'une forge à pétrole, il est préférable d'employer l'air au lieu de la vapeur, pour la pulvérisation. On se servira, à cet effet, d'un fort ventilateur.

La figure 62 montre la disposition à adopter pour une forge circulaire. Le bâti cylindrique *a* est formé d'un réservoir en fer, rempli de briques réfractaires laissant une ouverture centrale, de $0^m,075$ à $0^m,10$ de diamètre jusqu'au fond du cylindre où elle est fermée par une porte articulée *b*. Un conduit *c* amène le vent provenant d'un tuyau *d*; un diamètre de $0^m,05$ suffit pour les travaux ordinaires, par exemple, pour souder du fer de $0^m,10$. A quelques centimètres de l'extrémité du tuyau à vent est vissé un tube à entonnoir *e* pointant

dans la direction du vent; la distribution d'huile est réglée à travers le conduit *f* par un petit robinet. On enfonce au-dessus de la porte *b* un tampon d'argile réfractaire pour protéger cette porte; on lance le vent et on ouvre le robinet à huile. Celle-ci est pulvérisée, puis enflammée par une torche en *g*, ou simplement par quelques copeaux introduits à la partie inférieure du tube central. En quelques instants, l'ouvrage en briques est chauffé à blanc et le vent projette une flamme blanche à plus de 3 mètres au-dessus de l'ouverture *g*.

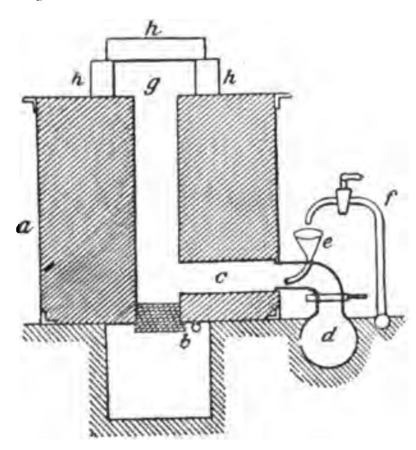


Fig. 62. — Foyer à pétrole pour forge.

Dans les travaux ordinaires, on n'emploie qu'un mince filet d'huile, et l'on n'a qu'une très courte flamme en *g*; mais l'ouvrage en briques devient incandescent. Quelques briques réfractaires *h*, *h*, *h*, placées près de l'ouverture, pour permettre de suivre le travail à la main, complètent cette installation. Si, au contraire, on donne un fort coup de vent et qu'on use une quantité suffisante d'huile, l'ouvrage en briques commence bientôt à fondre; aussi, dans la pratique ordinaire, devra-t-on recouvrir le passage central. Le laitier, s'accumulant au-dessus de la porte *b*, boucherait bientôt le passage du vent; on l'enlèvera, le cas échéant, en le piquant par-dessous, la porte étant ouverte.

Une importante application du pétrole a été faite aux ateliers d'Oufa appartenant au chemin de fer Samara-Zlatooust : les fourneaux de forge de ces ateliers fonctionnent aux résidus de pétrole (densité, 0,930). Ces fourneaux sont portatifs, peu encombrants, économiques, et ils ne dégagent pas d'émanations sulfureuses. Leur emploi est notamment indiqué pour les travaux d'emboutissage. Au point de vue dépenses, un fourneau à pétrole économise 30 0/0 de frais par rapport au chauffage à la houille. Si l'on considère le prix de revient des objets fabriqués dans les deux cas, l'économie varie de 25 à 45 0/0 en faveur du mazout.

Un fourneau de forge à pétrole est 17,5 0/0 plus productif qu'un fourneau à houille. L'emploi des emboutissoirs peut faire monter la différence jusqu'à 60 0/0.

Le foyer de forge à résidus de pétrole représenté par la figure 63 se compose d'un solide châssis en fer à cornières supporté par des pieds en fer. Le châssis porte une couche de maçonnerie en briques ordinaires, épaisse de 115 millimètres, aux deux bouts de laquelle se trouvent le générateur à pétrole et la cheminée ; le fer est chauffé dans l'espace intermédiaire. Le générateur se compose d'une boîte en fonte, à doubles parois. Les deux parois de cette boîte sont percées de deux trous ronds ; le premier sert pour observer le fonctionnement du fourneau ; dans l'autre est adapté le pulvérisateur, qui se compose de deux tubes en fer. L'un d'eux sert à souffler l'air dans le générateur. L'autre tube se compose de deux parties, reliées à angle droit ;

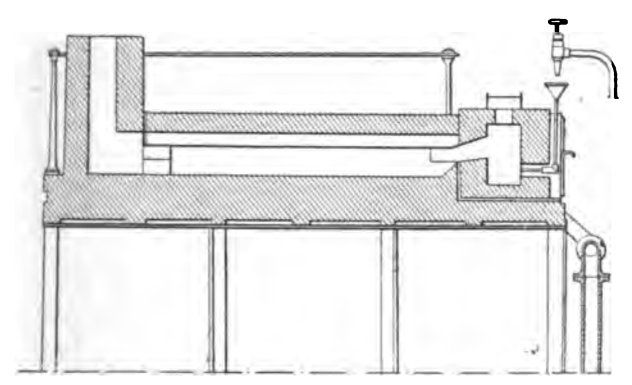


Fig. 63. — Foyer de forge à résidus de pétrole.

à un bout, il est muni d'un petit entonnoir, qui reçoit les résidus de pétrole ; l'autre bout du tube sert à admettre ces résidus de pétrole dans le générateur.

Dans la maçonnerie qui enserre de tous côtés la boîte en fonte sont ménagés deux orifices ; l'un d'eux permet d'allumer les résidus de pétrole, quand le fourneau commence à fonctionner ; l'autre, un peu rétréci et incliné, conduit les gaz enflammés, produits dans le générateur, vers le foyer. Ce foyer, bourré d'une couche de briques réfractaires, est construit en rigole. Pour retenir le feu dans le foyer et l'amener à un contact parfait avec les objets chauffés, le fond du foyer est rempli de tuileaux de briques réfractaires usées. Le foyer est couvert d'un couvercle, composé d'un châssis fait de cornières et de briques réfractaires. Ce couvercle s'appuie sur des briques librement posées et est disposé en voûte pour faciliter l'arrivée du feu aux objets chauffés.

Pour faire fonctionner le foyer, on fait les opérations suivantes : on jette dans le générateur un petit paquet de déchets de coton graisseux allumé ; on ouvre un peu le registre du conduit d'air et on introduit un mince filet de résidus de pétrole dans l'entonnoir. Le mazout, en sortant par l'extrémité aplatie du tuyau, rencontre le courant d'air, se pulvérise, se mêle à l'air et s'enflamme sur les déchets de coton allumés. Le mélange parfait du pétrole pulvérisé avec l'air est facilité par ce fait que l'orifice, par lequel le générateur communique avec le foyer, est placé beaucoup plus haut que le pulvérisateur. Quand la couleur du feu commence à devenir blanche, cela indique que le générateur est suffisamment chauffé. On règle la force du courant d'air et la consommation du mazout une fois pour toutes. On obtient les résultats les plus satisfaisants, si la pression d'air dans les tuyaux de conduite est de 50 millimètres au manomètre à l'eau, et de 32 millimètres dans le générateur ; la consommation est à peu près de 18 à 19 kilogrammes par heure.

Un foyer de forge à pétrole de moyennes dimensions suffit pour le travail simultané de six forgerons ; deux d'entre eux peuvent souder des objets d'une grandeur moyenne, sans empêcher le travail des autres.

Pour forger des objets de dimensions exceptionnellement fortes, on construit des foyers doubles, d'après le même principe ; la différence consiste en ce que, sur un châssis commun, sont montés deux générateurs et deux foyers qui aboutissent à une cheminée commune au milieu du châssis. La cheminée est surmontée d'un manteau garni d'écrans en tôle.

Applications aux divers fours métallurgiques. — Les appareils d'application de la combustion du pétrole aux diverses opérations de la métallurgie sont de plusieurs classes.

Dans les uns, la maçonnerie du four comprend trois ou cinq cuvettes en fonte superposées qui sont maintenues constamment pleines au moyen d'une tuyauterie. L'air nécessaire à la combustion arrive par des fentes ménagées entre ces bassins. On emploie ce système pour les fours à chaux ou à briques et pour la fusion du cuivre ou autres métaux dans des creusets.

Dans une usine de Chemnitz, on prépare un fer ductile fondu au creuset dans un four chauffé à l'huile minérale, dont la vapeur se mélange avec de l'air chaud avant de pénétrer dans les chambres de combustion.

On place les creusets deux par deux dans les chambres de combustion. L'huile est amenée par un tube dans un godet qui se trouve devant une cuvette supérieure, d'où elle s'écoule par un trop-plein dans un godet, puis dans une seconde cuvette. L'huile en excès est recueillie dans un réservoir. Les gaz que dégage la combustion de l'huile pénètrent immédiatement dans la chambre où ils se mélangent avec de l'air chaud amené par un canal spécial.

Dans un autre genre d'appareils, le pétrole coule goutte à goutte ou en minces filets par de petits tubes ou par des fentes ; la vapeur de naphte, mise ainsi en contact avec l'air, brûle facilement et donne rapidement une température élevée. On emploie avec succès les appareils de ce groupe pour les fours à réchauffer et à souder, mais il faut avoir soin de gazéifier préalablement le combustible dans un espace particulier.

Dans des fours existant aux usines Nobel, le naphte tombe directement par des ajutages existant au-dessus de la voûte du foyer et se gazéifie directement par la chaleur même du foyer. Au moment de l'allumage qui se fait avec du bois, on augmente progressivement la chaleur du foyer pour une admission progressive d'air.

On peut aussi employer des brûleurs à pulvérisation analogues à ceux des navires ou des locomotives, et fonctionnant à la vapeur ou à l'air comprimé, par exemple le brûleur Brandt (p. 235).

Dans un four Martin Siemens à récupérateurs chauffé au moyen de résidus de pétrole, la profondeur des chambres à air et des chambres à gaz placées immédiatement sous la sole ne doit pas être trop grande, parce que les gaz du naphte, moins riches en oxyde de carbone que les gaz de la houille, se condensent si on les laisse longtemps à l'état de vapeurs ; on est alors encombré par les goudrons et par les résidus transformés en coke dur. Une cavité en forme de rigole reçoit les résidus de pétrole ; elle se trouve dans la quatrième série de briques.

Dans une ouverture pratiquée à travers le parement externe du mur du récupérateur est adaptée une plaque en fer épaisse munie d'une ouverture par laquelle passe une pièce creuse en fer avec le tube à naphte.

Le pétrole amené par ce tube se déverse sur la pièce de fer chauffée au préalable, se gazéifie, et les gaz sont introduits dans le labora-

toire du four par deux canaux ; l'air nécessaire à la combustion est amené par trois autres canaux. La pièce creuse en fer est chauffée par un pulvérisateur à naphte ordinaire.

Dans un four à puddler construit sur le même principe, on produit en vingt-quatre heures 5 à 6 tonnes de fer avec une perte de 7 à 8 0/0 et une consommation de pétrole de 250 kilogrammes par tonne de métal fini, soit une économie de 80 0/0 environ par rapport au chauffage direct à la houille.

On emploie beaucoup maintenant les brûleurs Kœrting pour les fours Martin Siemens. Le pétrole est refoulé par des pompes, sous une pression de 5 à 7 atmosphères, dans un accumulateur, puis dans un tube sur lequel on visse le pulvérisateur qui débouche dans une chambre de vaporisation surchauffée. Au sortir de cette chambre, les vapeurs se rendent par des canaux dans le four et se mélangent à l'air introduit par une fente ménagée au-dessous de l'ouverture d'entrée du pétrole. Avec un four de 10 à 15 tonnes, la consommation de pétrole est de 20 0/0 du poids de la fonte environ.

Dans d'autres dispositifs plus simples, on introduit directement le pétrole dans le four au moyen de cinq pulvérisateurs à air, dont deux à chacune des extrémités du four et un dans le milieu. On munit les pulvérisateurs de chemises à circulation d'eau pour les empêcher de se brûler.

Le chauffage des fours au pétrole simplifie la surveillance. On obtient des températures très élevées avec des gaz exempts d'acide sulfureux, et on peut éteindre le feu pendant quelque temps sans perdre de combustible. Les fours ont une durée et une capacité de production au moins aussi grandes que les fours ordinaires à gazogène.

Application à la métallurgie du cuivre. — A Kedabeg et à Kalakent, dans le Caucase, la fonte pour matte cuivreuse des minerais grillés en tas a lieu dans des fours à réverbère chauffés au pétrole ; de même, le raffinage du cuivre brut est pratiqué dans des fours à réverbère anglais chauffés au pétrole. Le four employé pour la fusion du minerai se compose d'un laboratoire à sole quartzeuse couvert d'une voûte très surbaissée. Deux injecteurs à vapeur et deux tuyères à air placées symétriquement à l'arrière du four lancent l'air et le pétrole obliquement vers l'avant ; les deux jets de pétrole en-

flammé, après avoir parcouru presque diamétralement le laboratoire circulaire, se replient en sens inverse en demi-cercle et prennent ensuite une double courbure pour s'échapper par un conduit montant placé du côté des ouvertures d'injection et se dirigeant vers la cheminée. La flamme produite agit par réverbération. Un four passe 40 tonnes de minerai à 7 0/0 en vingt-quatre heures, avec un maître fondeur et trois aides.

En Amérique, la Société Lunkenheimer emploie dix fours de fusion au pétrole dans ses usines. On y passe en dix heures six ou sept charges de 250 kilogrammes ; la consommation de pétrole est de 28 litres par 100 kilogrammes de métal fondu. Le four Lunkenheimer se caractérise par la présence de deux ouvertures servant à la fois pour le chargement et pour la coulée. Comme ces points fatiguent beaucoup par l'action des gaz chauds et par celle du métal en fusion, leur réparation assez fréquente entraîne celle des parties voisines ; en se servant de deux ouvertures dont l'une est bouchée par un tampon de terre réfractaire pendant que l'autre fonctionne, on gagne énormément sur la consommation des matières réfractaires. L'enveloppe du four est établie en deux parties pour la facilité des réparations ; le garnissage est en briques réfractaires de forme spéciale pour le trou de coulée et pour les parties adjacentes.

Le four Roch well a ceci de particulier que les gaz brûlés sont employés à réchauffer la charge. L'appareil est une véritable combinaison de deux fours ; le premier fond la charge à couler, le second réchauffe les matières qui doivent servir à la prochaine fusion. Le gaz arrive tour à tour par la droite et par la gauche ; de cette façon, le four est pour ainsi dire continu. La seule précaution à prendre est que les gaz brûlent véritablement dans le premier four et que, par conséquent, le métal du deuxième four s'échauffe progressivement. Le four peut fondre des métaux différents sur chaque sole, et au besoin fondre le même métal dans les deux fours. Si l'on veut couler de grosses pièces, les charges varient de 175 à 1.500 kilogrammes dans chaque chambre.

On reproche à tous ces fours de perdre beaucoup de chaleur par rayonnement. Comme la chaleur doit pénétrer de la surface à l'intérieur du bain, la surface doit nécessairement être surchauffée ; de plus le four mélange mal. Pour éviter l'oxydation des charges

par la longue durée des opérations, quelques ingénieurs ont adopté des pressions plus fortes de manière à accélérer la fusion. Pour le pétrole raffiné, on est arrivé à employer la pression de $0^{kg},6$ par centimètre carré et, pour des huiles lourdes, la pression de $1^{kg},5$ par centimètre carré. Pour obtenir à la fois une bonne utilisation du combustible et un bon mélange des matières, le four Orbison est construit de manière qu'on puisse le faire osciller pendant la fusion. Sur le fond du four se trouvent des briques qui dépassent les briques suivantes de 50 ou 75 millimètres. Dans le mouvement de bascule du four, le métal passant sur ces briques spéciales s'y brasse et se mélange.

Ce type de four présente certains avantages au point de vue de la propreté et surtout au point de vue de la facilité avec laquelle on peut régler la flamme et obtenir une atmosphère oxydante ou réductrice. Son emploi paraît tout indiqué pour la fusion de corps s'oxydant très facilement, par exemple pour des alliages de plomb et de zinc.

De plus, la haute température que donne la flamme du pétrole permet le traitement d'alliages et de métaux difficiles à fondre.

Le four d'affinage de Schwartz ressemble à un petit convertisseur Bessemer. Il faut environ quarante-cinq minutes pour le mettre en état de fonctionner, et il suffit d'environ une heure pour fondre des mélanges de cuivre, de zinc, de plomb et d'étain représentant des charges d'à peu près 100 kilogrammes. On peut faire environ trois cents opérations avec le même revêtement de briques réfractaires.

Bruleurs pour locomotives. — C'est surtout en Russie que s'est généralisé l'emploi du pétrole pour le chauffage des locomotives. Nous décrirons donc quelques-unes des dispositions employées dans ce pays pour la pulvérisation du combustible liquide.

Dans la première catégorie d'appareils (appareils Urqhardt, Riasan-Oural[1]), la vapeur est amenée par une tuyère centrale de l'injecteur à pétrole, dont la position est réglable à la main ; le pétrole et la vapeur sont donc mélangés avant de sortir de l'injecteur.

1. Voir le mémoire de M. Eugène Brückmann : *Naphtaheizung der locomotivkessel in Russland* (*Zeitschrift des Vereines der deutschen Ingenieure*, 21 novembre 1896).

Dans la seconde catégorie (appareils Karapetof et Brandt), les jets de pétrole et de vapeur font un angle de 60° à 80° et ne se mélangent qu'après la sortie de l'injecteur. L'appareil Karapetof est muni d'un canal spécial d'arrivée d'air.

Brûleur Urqhardt. — Dans le premier appareil Urqhardt, l'huile de pétrole brute (*fig.* 64) arrive du tender au foyer au moyen de cinq tubes, percés chacun de quatre ouvertures par où le pétrole

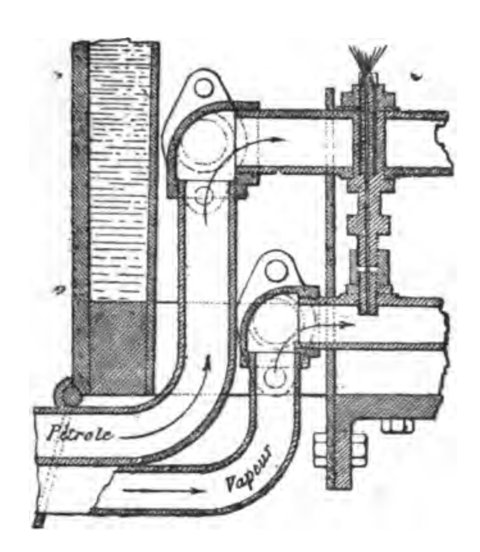


Fig. 64. — Appareil Urqhardt.

s'échappe sous forme de jets aunulaires, lancés chacun par un courant central de vapeur qu'amène une conduite de vapeur placée sous la conduite de pétrole.

Cette vapeur peut être au besoin mélangée d'air. On obtient ainsi une combustion très vive et sans fumée, du moins en marche, quand le tirage est actif.

M. Urqhardt a fait breveter, en 1883, un autre système. L'appareil se compose de deux parties : l'injecteur de pétrole et le foyer proprement dit.

L'injecteur, représenté par la figure 65, lance, à travers l'entretoise perforée L, un jet de pétrole, amené, par F, autour de l'aiguille B, qui reçoit de la vapeur surchauffée.

L'aiguille B, mobile sous l'action d'une vis sans fin, sert en

même temps au réglage du jet. Le jet de vapeur et de pétrole entraîne par E l'air nécessaire à l'allumage et se trouve diffusé par la plaque M en une nappe uniforme dans le foyer.

Le foyer est garni d'une enveloppe en briques réfractaires formant une chambre de combustion dont les gaz s'échappent vers les tubes par des canaux. L'air nécessaire à la combustion du mélange enflammé pénètre par des ouvertures ménagées dans le cendrier. Le mélange parfait de cet air avec les hydrocarbures injectés dans la

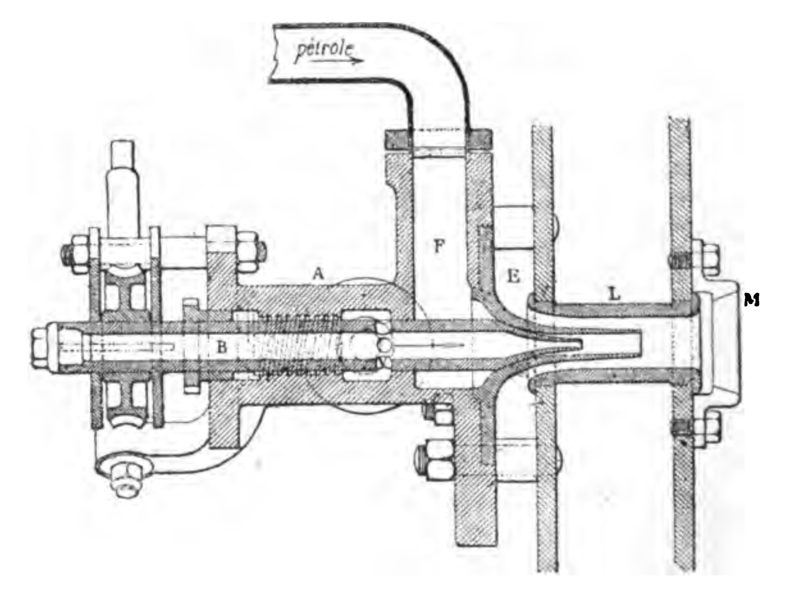


Fig. 65. — Autre appareil Urqhardt.

chambre et dans les canaux assure leur combustion complète avant l'entrée des gaz dans les tubes où ils arrivent uniformément sans brûler la plaque tubulaire et après avoir parcouru toute la surface de chauffe des parois du foyer.

Outre la voûte ordinaire, on a placé dans le foyer deux voûtes latérales ayant pour but de produire des remous et de rendre la combustion aussi complète que possible avant que les gaz chauds n'entrent dans les tubes.

La disposition représentée par la figure 66 a pour objet principal de chauffer le plus possible l'air admis par l'avant du cendrier, à travers le carneau A. Les tuyaux en fonte B permettent à une

partie de la flamme de l'injecteur de venir frapper directement le bas de la plaque tubulaire, de façon à en utiliser toute la surface de

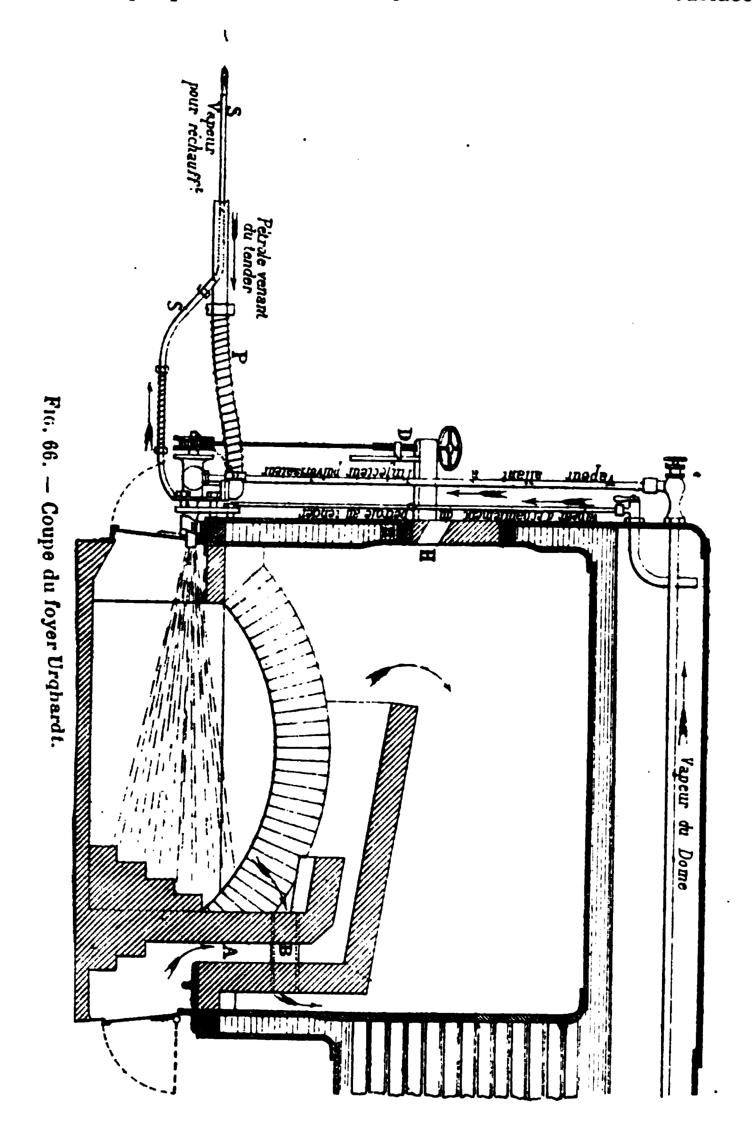


FIG. 66. — Coupe du foyer Urqhardt.

chauffe. Enfin on protège les parois du foyer par des revêtements en briques réfractaires qui ont, en outre, l'avantage, par leur masse portée au rouge, de fournir un élément régulateur de la com-

bustion en remplaçant le combustible incandescent. Ces parois en briques durent de deux à six mois suivant la qualité des briques employées.

La mise en feu s'opère en injectant le pétrole pendant un quart d'heure environ avec de la vapeur empruntée à une autre chaudière. A cet effet, on emploie un tuyau de 25 millimètres de diamètre intérieur, que l'on met en communication, d'une part, par un robinet à trois voies avec la vapeur d'une chaudière voisine sous pression et, d'autre part, avec l'injecteur de pétrole et le souffleur de la locomotive mise en feu.

La mise en pression, en partant de l'eau froide, dure vingt minutes; on a, à ce moment, une pression de 3 kilogrammes, qui suffit pour alimenter l'injecteur. Au bout d'une heure, la pression est de 8 atmosphères.

Au moment de l'allumage, il faut éviter les explosions, d'ailleurs sans danger, des vapeurs de pétrole qui peuvent s'être accumulées dans le foyer. A cet effet, on nettoie soigneusement le bec de l'appareil par un jet de vapeur, le cendrier étant ouvert, ainsi que le souffleur, qui doit rester dans cette position presque continuellement, afin d'aspirer les vapeurs du foyer; on met au fond de la chambre de combustion un tampon d'étoupe imbibée de pétrole et allumé; l'arrivée du jet sur ce tampon provoque l'inflammation des gouttelettes. Il ne reste alors qu'à ouvrir l'admission de vapeur, puis celle de pétrole graduellement, jusqu'au plein débit normal.

Une fois le feu allumé, on le règle au moyen des robinets et du registre du cendrier, par l'observation de la fumée; il doit sortir de la cheminée une légère fumée transparente indiquant qu'il n'y a pas excès d'air. Grâce à la température des briques du foyer, on peut, une fois l'appareil en train, fermer pour quelques instants l'arrivée du pétrole, pourvu qu'on ferme en même temps le cendrier, et qu'on ne le rouvre qu'une fois le feu rallumé grâce à la chaleur des parois. L'échappement doit être, de préférence, fixe et à grand orifice, le foyer n'offrant aucune résistance au tirage.

La quantité de vapeur se règle au moyen d'une valve placée sur le tuyau d'amenée et indépendante de l'injecteur; on fait varier l'afflux d'huile, en vissant ou en dévissant le cône intérieur dans le cône extérieur, de manière à modifier la section annulaire du passage de l'huile. Une échelle, graduée empiriquement, permet de sup-

pléer, pendant la nuit, à l'observation de la fumée, et un voyant fait connaître l'allure du feu.

Le pétrole déposant une suie grasse non adhérente sur les tubes et dans la boîte à fumée, on ramone à la vapeur ou au moyen de brosses métalliques. On peut aussi introduire chaque mois, dans la boîte à feu et dans la boîte à fumée, des tampons de déchet imbibés de pétrole que l'on fait brûler ; la suie est ainsi en grande partie consumée.

La consommation de vapeur nécessaire à la pulvérisation du pétrole varie de 8 à 13 0/0, la plus forte consommation ayant lieu en hiver. Quant à la consommation de pétrole, elle est de 11 à 12 kilogrammes par train kilométrique, y compris l'allumage, pour une locomotive à trois essieux couplés, traînant sur 150 kilomètres de voie accidentée un train de 400 tonnes.

Le réservoir de pétrole est placé sur le tender, dans l'intérieur du fer à cheval des caisses à eau, à la place habituelle du charbon. Le pétrole est ainsi préservé du froid par l'eau. D'ailleurs, toutes les fois que la température descend au-dessous de 0°, on réchauffe le pétrole au moyen de vapeur empruntée à la chaudière, circulant dans un serpentin qui entoure la crépine d'aspiration, le réservoir et le tuyau d'alimentation du pétrole. La circulation de la vapeur doit s'effectuer de bas en haut. Le pétrole est souvent livré mélangé d'une certaine quantité d'eau qui se sépare à une température de 10° environ. Il traverse, avant de pénétrer dans les réservoirs du tender, un filtre, à mailles intérieures de 3 millimètres de côté et, avant d'en sortir, un second filtre à mailles de 3 millimètres. Lorsqu'il se présente un caillot à l'injecteur du foyer, il suffit de détourner l'aiguille de façon à augmenter un peu l'ouverture. Une poche de vidange sert aussi à recueillir les impuretés contenues dans le pétrole et l'eau de condensation.

La capacité est, pour une locomotive à trois essieux couplés, de 3 tonnes et demie, ce qui permet d'alimenter, sur un parcours de 400 kilomètres, un train de 480 tonnes, non compris la machine et le tender. Pour les locomotives à quatre essieux, on a augmenté la quantité de pétrole à emporter, en ajoutant un réservoir au-dessus du réservoir à eau. Sur les Chemins de fer Baltiques, on emploie des réservoirs cylindriques placés au-dessus des caisses à eau.

L'économie résultant de l'emploi du pétrole oscille aux environs de 45 0/0. Au point de vue du chauffage, avec un bon mécanicien, 50 tonnes de résidus équivalent à 100 tonnes de la meilleure houille russe.

Au chemin de fer de Moscou-Brest, on a trouvé une consomma-

tion, par locomotive-kilomètre, de 6 kilogrammes pour le charbon et de 4 kilogrammes pour le pétrole. Le prix de revient du chauffage par locomotive-kilomètre était de 21 centimes dans un cas et de 0,176 dans l'autre, d'où une économie de 16 0/0 environ.

Brûleur Karapetof. — La figure représente le pulvérisateur Karapetof (1880), dans lequel l'air est injecté sous forme d'une lame, prise entre deux lames de vapeur et de pétrole (*fig.* 67); l'arrivée du pétrole peut être réglée au moyen d'un tiroir *t* (*fig.* 68), et celle de la vapeur au moyen d'un robinet. Le mélange enflammé est projeté sur une sole en briques réfractaires, dont la haute température achève de brûler les gouttelettes de pétrole.

Fig. 67 et 68. — Brûleur Karapetof.

L'ensemble de l'appareil peut, ainsi que l'indique le tracé pointillé de la figure 69, se déplacer facilement pour les réparations.

Les essais ont démontré que les résidus de pétrole employés vaporisent de 11 à 12 kilogrammes d'eau et que 1.000 kilogrammes de ce combustible équivalent à 7^{m3},8 de bois (chêne, hêtre et charme) ou à 1.800 kilogrammes de houille russe.

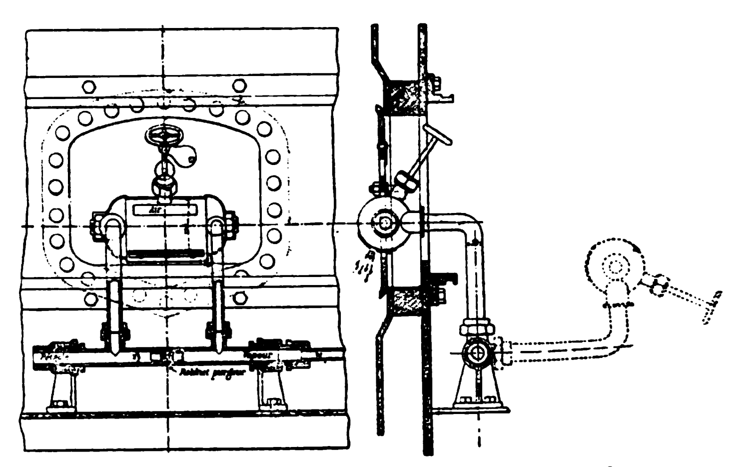


Fig. 69. — Disposition d'ensemble du foyer Karapetof.

Brûleur Brandt. — Dans l'appareil de M. Brandt (*fig.* 70), le pétrole, amené par un tuyau central A, s'étale sur un diaphragme conique B, qui le conduit aux lèvres *c* du pulvérisateur, où il est saisi par un jet de vapeur circulaire amené par le tuyau V. Le mélange se projette alors au centre de la grille, sous la forme d'une nappe circulaire; cette nappe monte sous l'action du tirage et s'épanouit en une grande flamme, qui remplit et chauffe uniformément le foyer tout entier. Cet appareil présente les inconvénients de ne pouvoir se réparer sans arrêt et de s'éteindre parfois sous l'influence des grands

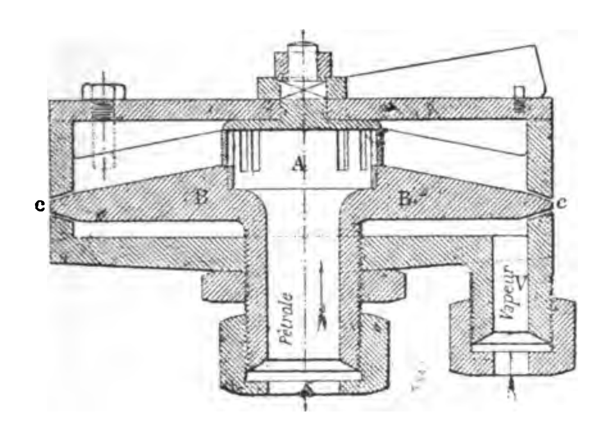


Fig. 70. — Brûleur Brandt.

vents, ou quand le tirage augmente brusquement par le patinage des roues.

Dans ce cas, le foyer souffre beaucoup des rentrées d'air froid inévitables; enfin le distributeur est sujet à se brûler et à s'encrasser. L'appareil rend de meilleurs services dans les chaudières fixes, surtout si l'on a soin de tailler dans le cône distributeur, comme l'a proposé M. Nobel, quelques spirales destinées à donner à la flamme un mouvement hélicoïdal.

Brûleur Fvardofski. — Dans le système Fvardofski (chemin de fer d'Orenbourg), le pétrole est projeté dans le foyer au moyen de quatre pulvérisateurs placés sur chacune des faces du foyer, deux à deux, en face l'un de l'autre, de façon que les jets de pétrole se rencontrent au centre du foyer et n'atteignent pas les parois latérales.

Cette disposition permet la suppression des parements réfrac-

taires employés dans la plupart des autres systèmes. La grille, formée de barreaux en fonte recouverts d'un lit de briques réfractaires, sert d'accumulateur de chaleur. A travers les barreaux et le lit de briques réfractaires, sont pratiquées des ouvertures pour le passage de l'air nécessaire à la combustion.

Fig. 71. — Sole du foyer Fvardofski.

Les pulvérisateurs P_1 et P_2 sont indépendants l'un de l'autre (*fig.* 71). Les pulvérisateurs P_3 et P_4 fonctionnent simultanément. Il en est de même des robinets, amenant le pétrole ou la vapeur à ces pulvérisateurs.

Un serpentin à vapeur sert à chauffer le pétrole. Cela offre l'avantage de fournir aux pulvérisateurs du liquide à une haute température. Il est inutile de chauffer le réservoir du tender, ce qui réduit notablement la dépense de vapeur nécessaire pour chauffer le pétrole.

La figure 72 donne le détail du pulvérisateur. Au point de vue de l'économie, il est avantageux de donner aux ouvertures extrêmes du pulvérisateur la forme d'une fente. Mais, si le pétrole n'a pas été suffisamment filtré, il se produit de fréquentes obstructions. Aussi on emploie de préférence la disposition représentée par la figure, où la vapeur et le pétrole se réunissent avant de pénétrer dans le foyer.

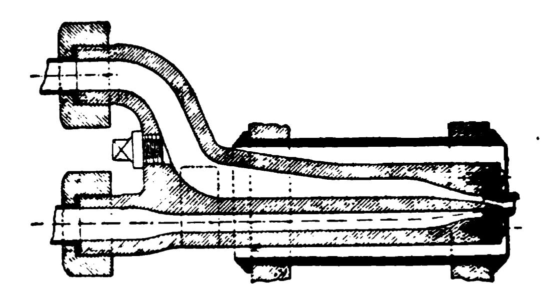


Fig. 72. — Pulvérisateur Fvardofski.

Pour l'allumage des locomotives, on emploie du bois, et on fait fonctionner les pulvérisateurs dès que la pression est suffisante. On peut également utiliser la vapeur d'une autre locomotive. On peut aussi faire usage du souffleur pour l'allumage.

Lorsque la machine est au repos et qu'il faut seulement maintenir la pression de la vapeur, il suffit d'employer un seul pulvérisateur, de préférence P_1. Le robinet à vapeur du pulvérisateur P_2 doit être

alors ouvert, afin que la flamme du pulvérisateur P_1 ne puisse atteindre la paroi du foyer.

Quand la machine est en marche, on fait fonctionner deux, trois ou quatre pulvérisateurs, selon le travail à effectuer. Le pulvérisateur P_1 doit fonctionner toujours plus fortement que le pulvérisateur P_2, afin que la flamme soit plus éloignée de la tôle tubulaire et se répande dans le foyer avant d'atteindre les tubes. De cette façon, le naphte brûle plus complètement. On obtient une meilleure utilisation du pétrole, lorsque les pulvérisateurs P_1, P_2 et P_4 fonctionnent et que le pulvérisateur P_3 ne projette que de la vapeur.

Dans les essais qui ont été faits, on a trouvé que la consommation de pétrole était de 7 kilogrammes par locomotive-kilomètre, tandis que la consommation de charbon était de 12 kilogrammes. L'économie résultant de l'emploi du pétrole est de 40 0/0 environ. En revanche, le pétrole ainsi brûlé présente l'inconvénient de produire une très haute température qui détériore les parois en cuivre du foyer.

Brûleur Artenef. — Les figures 73 et 74 représentent l'appareil Artenef. Le pétrole et la vapeur sont amenés par des tuyaux distincts à la languette d'un diaphragme, d'où ils sont lancés et mélangés dans le foyer par les lèvres d'un distributeur. L'air arrive tout autour du mélange; les proportions en sont réglées par les robinets E et F, qui fonctionnent mieux que des tiroirs. Le diaphragme indiqué en double hachure, sur la figure 73, est formé par une rondelle conique serrée par un boulon sur le pulvérisateur. L'appareil peut se démonter en quelques minutes, sans arrêt.

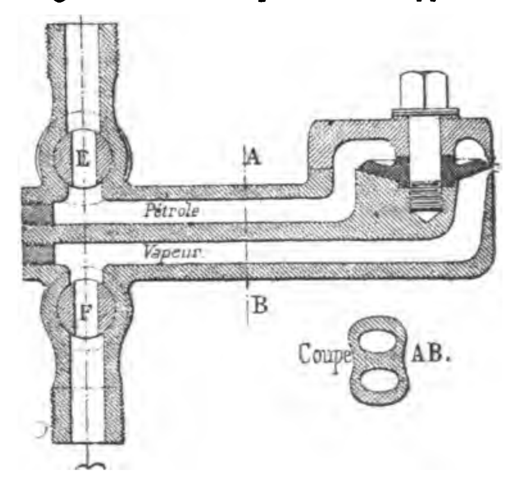


FIG. 73. — Brûleur Artenef.

Le robinet de purge intermédiaire R (*fig.* 74) permet de nettoyer de temps en temps le tube à pétrole par un jet de vapeur.

Brûleurs divers. — Dans l'*appareil Lenz* (1870), ainsi que l'indiquent

les figures, le pétrole et la vapeur sont amenés, par des tuyaux distincts E et F, à la languette d'un diaphragme (*fig.* 77), d'où ils sont lancés et mélangés dans le foyer, par les lèvres du distributeur *d*; l'air arrive

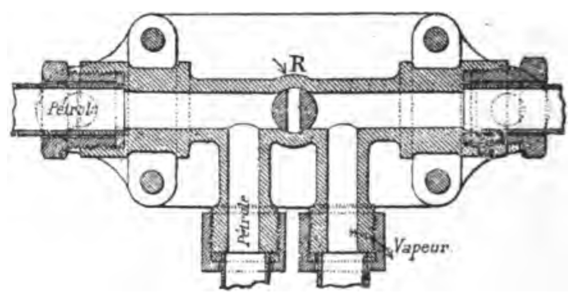


Fig. 74. — Brûleur Artenef.

tout autour du mélange dont les proportions sont réglées par des tiroirs circulaires ; le robinet de purge intermédiaire permet de nettoyer de temps en temps, par un jet de vapeur, le tube à pétrole E.

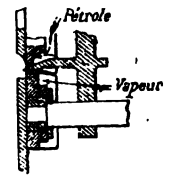


Fig. 75. — Appareil Lenz.

Cet appareil a été appliqué aux locomotives du Transcaucasien ; il fallut y renoncer parce qu'il détruisait les plaques tubulaires et les bouts des tubes ; en outre, il chauffait très inégalement les parois des foyers et donnait une combustion incomplète ayant pour effet d'encrasser les tubes.

Essais en France. — *Foyer des Forges et Chantiers de la Méditerranée.* — Les figures 78 et 79 représentent un appareil qui a été construit par les Forges et Chantiers de la Méditerranée, et qui est un perfectionnement de l'ancien appareil de Sainte-Claire Deville.

Le pétrole admis en A (*fig.* 78) est distribué, par les ajutages E et les tubes F, à une série de canaux J, qui l'amènent sur les barreaux K, d'une grille en fonte très inclinée. Ces barreaux sont pourvus de rainures de profondeur décroissante vers le bas et comprennent entre eux les distributeurs M, formés par une série de déflecteurs montés sur un même axe manœuvré par le levier O. Ces déflecteurs sont creux et percés à leurs extrémités de nombreux trous Q. Une soufflerie amène de l'air comprimé sous la sole du foyer. Cet air passe au foyer R, en partie entre les barreaux K et les distributeurs M qui l'échauffent et l'infléchissent sur la grille, et en partie à travers les trous des déflecteurs.

Le pétrole est distribué aux tubes F au moyen d'un robinet B, à

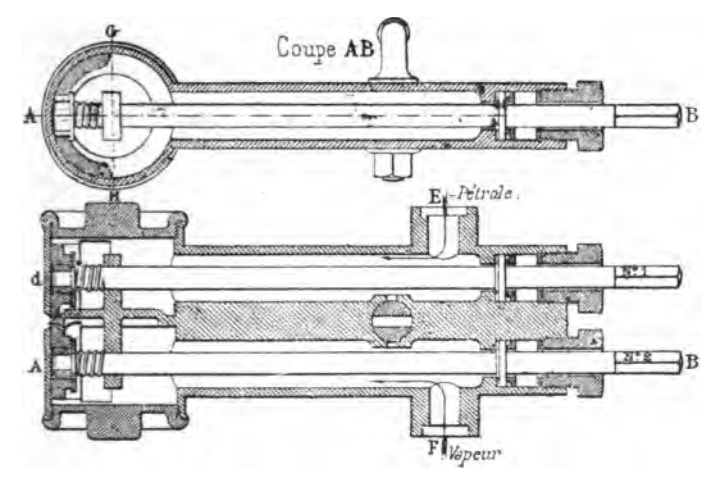


Fig. 76. — Appareil Lenz.

deux rangées de trous. Tous les tubes F aboutissent au conduit  transversal I par les soupapes G, dont la tige est pressée par un ressort, de façon à ne céder que sous une charge de pétrole supérieure à la pression du vent dans le foyer.

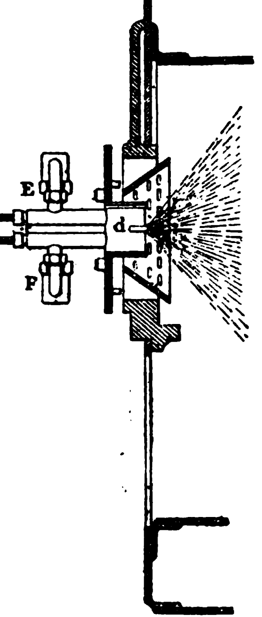


Fig. 77. — Appareil Lenz.

Les produits non brûlés se réunissent en L. Les flammes sont dirigées par l'autel et une glace permet de surveiller l'allure du foyer.

Appareil Santenard. — Le principe de cet appareil est d'introduire dans le foyer, à un niveau correspondant à l'axe de la porte, un mélange de pétrole et d'air comprimé, portés au préalable à une température élevée dans une boîte de mélange spéciale.

L'air comprimé est fourni par le réservoir principal du frein à air ; un tuyau branché sur la conduite qui part du réservoir principal amène l'air comprimé dans un réservoir étanche de 200 litres environ de capacité contenant le pétrole (*fig.* 80).

De ce récipient partent deux conduites, l'une de pétrole, l'autre

d'air comprimé, qui se rendent à la boîte de mélange. En marche normale, la pression dans le récipient doit être de 1 kilogramme environ, ce dont le mécanicien peut s'assurer constamment à l'aide d'un manomètre spécial; comme il n'existe aucun appareil détendeur, c'est uniquement par le réglage des débits des robinets que l'on peut arriver à maintenir cette pression.

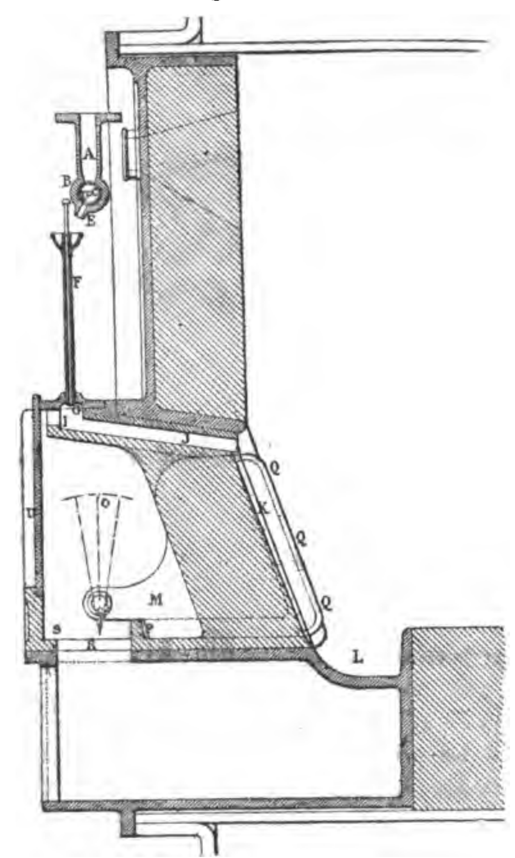


Fig. 78. — Détail du foyer à pétrole des Forges et Chantiers de la Méditerranée.

La boîte de mélange et de distribution (*fig.* 81) est fixée directement à l'intérieur de la porte du foyer; les tuyaux d'arrivée d'air et de pétrole sont souples, de manière à permettre de manœuvrer facilement la porte lorsqu'on ne fait pas usage de l'appareil. L'air, après s'être échauffé en circulant dans la boîte, pénètre en barbottant dans le pétrole, se charge de vapeur combustible, et le mélange d'air et de pétrole pénètre dans le foyer par une série de fentes pratiquées dans la paroi antérieure de la boîte.

On peut objecter à cet appareil que la boîte de mélange en fonte exposée directement à l'action du feu ne doit pas résister longtemps. D'autre part, la possibilité d'ouvrir par mégarde la porte du foyer, pendant que l'appareil fonctionne, constitue un danger pouvant offrir de graves inconvénients. Il peut y avoir danger à employer des tuyaux souples renfermant du pétrole à proximité de la porte du

foyer. Enfin, il est mauvais d'emprunter de l'air au réservoir du frein, car on peut troubler ainsi le fonctionnement de ce frein.

Appareil Vétillard Scherding. — L'appareil se compose essentiellement :

1° D'un éjecteur recevant dans un espace annulaire la vapeur de la chaudière qui, en s'écoulant suivant une couronne d'une surface très réduite, fait un vide relatif dans la tuyère centrale et tend à aspirer le combustible liquide qui y arrive directement et qu'elle vaporise ensuite ;

2° D'un second éjecteur, dans lequel le mélange de vapeur et de combustible liquide agit comme la vapeur seule dans le premier et aspire, par la tuyère centrale une certaine quantité d'air destinée à faciliter la combustion ;

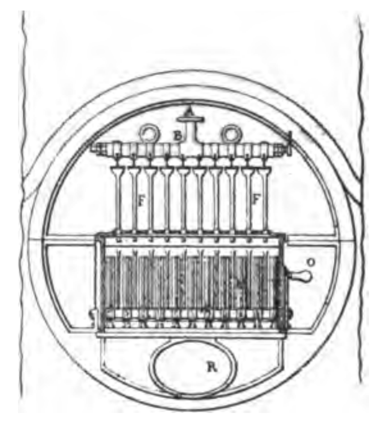


Fig. 79. — Foyer à pétrole des Forges et Chantiers de la Méditerranée.

3° D'un troisième dispositif composé de l'extrémité du second éjecteur et d'une pièce annulaire placée entre les parois du foyer et de la boîte à feu et dont le profil permet également l'aspiration de l'air extérieur.

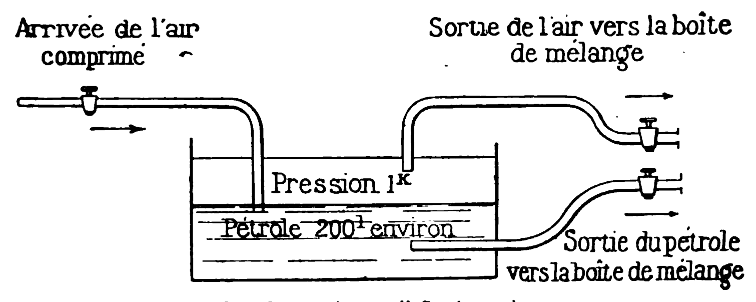


Fig. 80. — Appareil Santenard.

Le combustible liquide, par la disposition des tuyères de mélange, arrive donc dans le foyer, complètement combiné avec le volume d'air nécessaire à sa parfaite combustion.

Les locomotives express compound des chemins de fer de l'Est français sont munies de deux brûleurs à pétrole Vétillard Scherding

pouvant brûler chacun 100 kilogrammes de pétrole par heure en vue des coups de collier à donner sur les rampes.

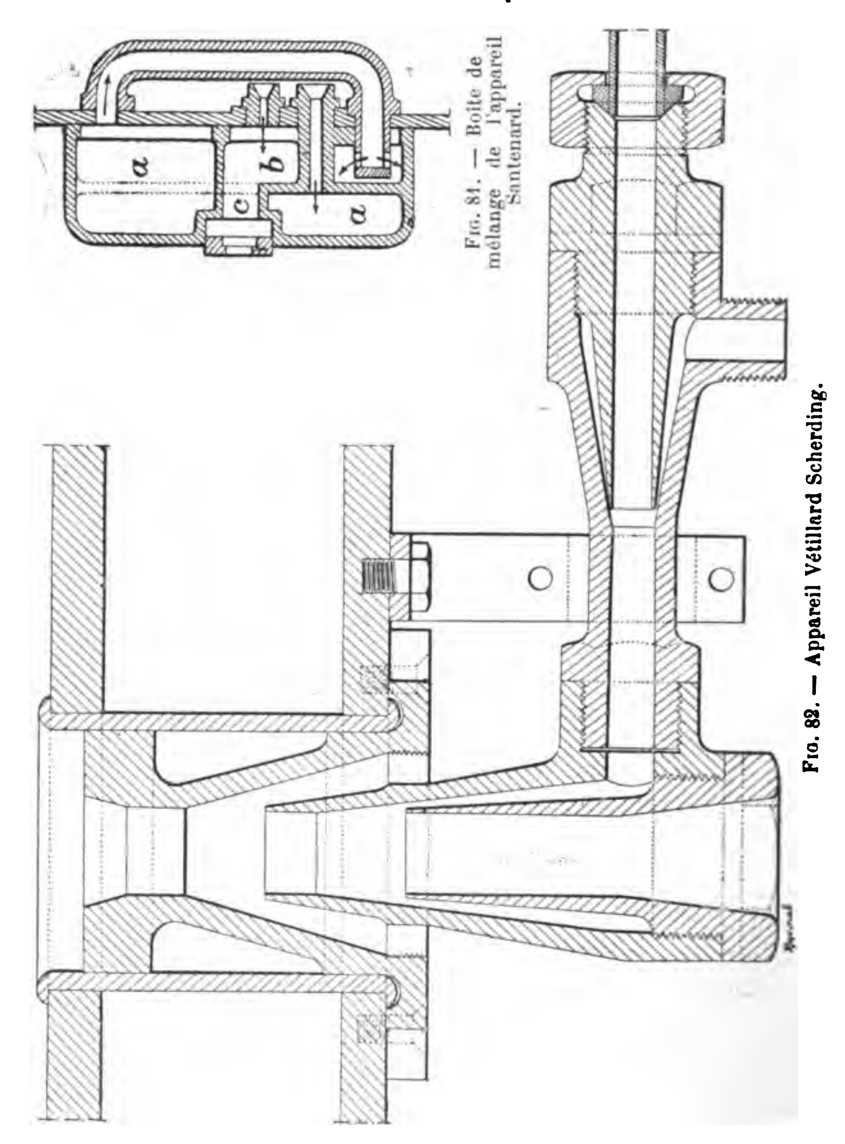


Fig. 81. — Boîte de mélange de l'appareil Santenard.

Fig. 82. — Appareil Vétillard Scherding.

Chaudière de locomotive système Seigle. — Quelques inventeurs ont cherché à opérer la combustion du pétrole et, en général, des hydrocarbures liquides, dans un foyer étudié spécialement à cet effet.

Cette solution peut être plus satisfaisante au point de vue particulier de la combustion des hydrocarbures, mais elle présente l'inconvénient de ne pas permettre de chauffer la chaudière au charbon dans les cas où cela devient intéressant. Nous citerons notamment le système Seigle, qui permet d'employer les huiles lourdes ou le pétrole. Ce sys-

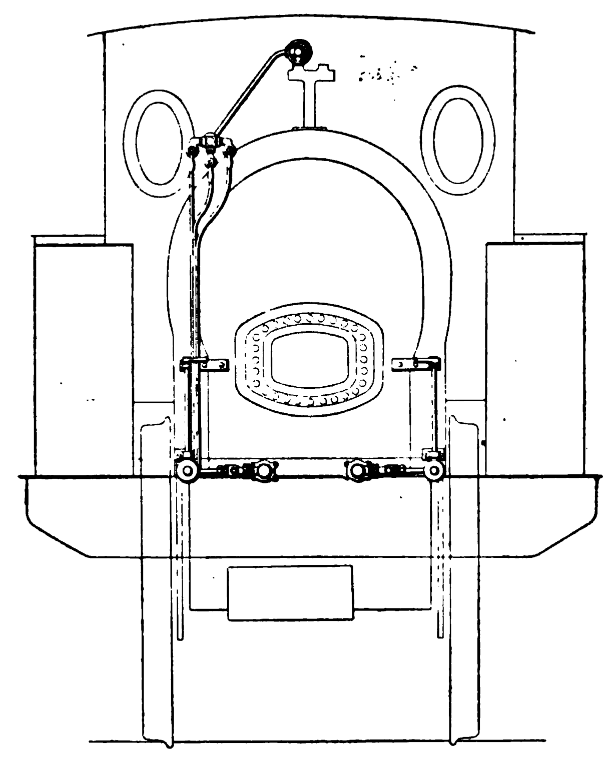


FIG. 83. — Application à un foyer de locomotive d'un appareil Vétillard Scherding.

tème a été notamment étudié sur une locomotive d'un système tout particulier.

La forme de la chaudière est assez spéciale (*fig.* 83). Elle se compose d'une gaine télescopique, formée par quatre tronçons cylindriques de diamètre croissants séparés par trois boîtes à air ; dans ces boîtes à air, débouchent quatre séries de trois tubes de diamètres décroissants, les trois tubes de chaque série étant placés à la suite les uns des autres, et le plus gros tube partant d'une ouverture percée sur la façade de la chaudière.

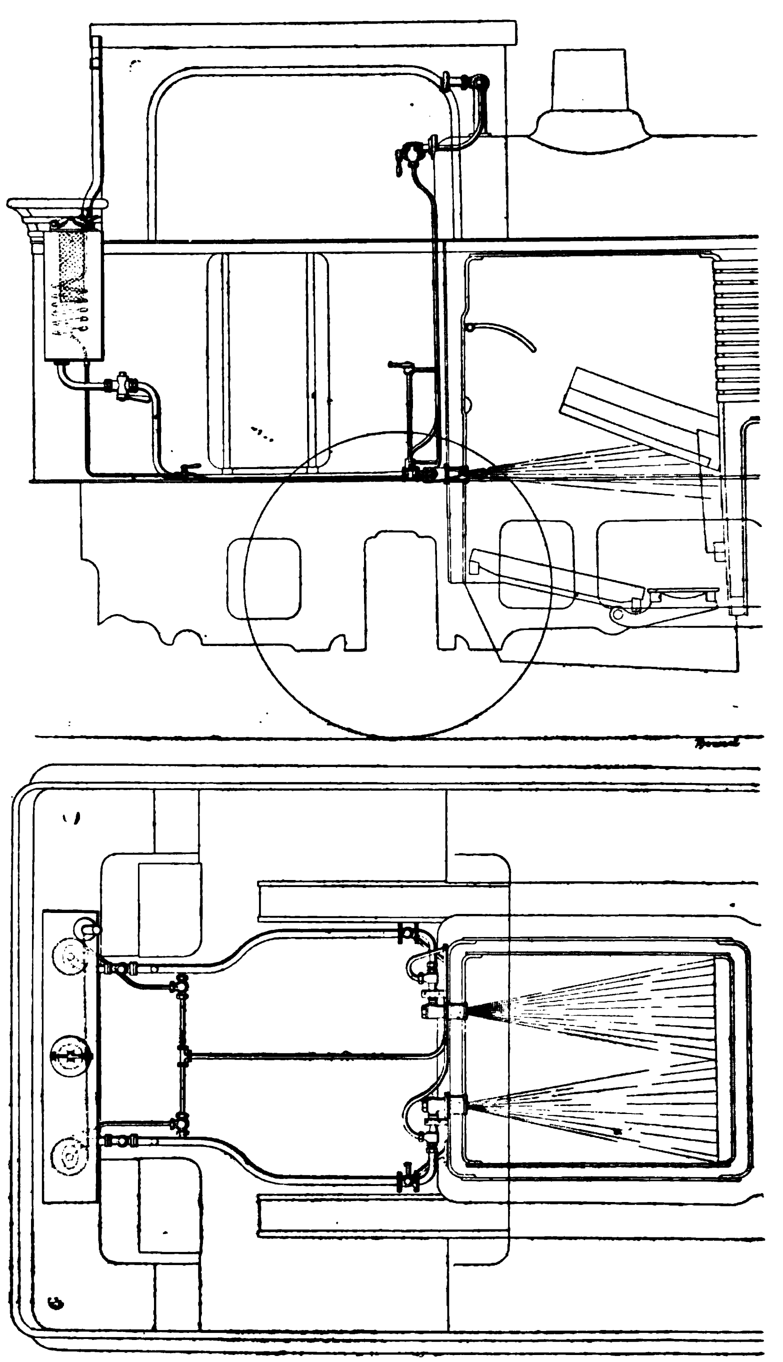


Fig. 84. — Application à une locomotive d'un appareil Vétillard Scherding.

Le dernier tronçon de la gaine est prolongé par une chambre de combustion avec ciel plat armaturé et plaque tubulaire, d'où part un faisceau de tubes aboutissant à la boîte à fumée et de là à la cheminée.

A l'entrée de la gaine et sous la main du chauffeur, sont placés cinq pulvérisateurs à débit variable, qui injectent un mélange de vapeur d'eau et d'hydrocarbure finement pulvérisé, donnant une flamme circulaire, alimentée, à l'entrée de chaque tronçon, par les boîtes à air par lesquelles se fait l'aspiration de l'air nécessaire à la combustion complète du jet gazeux.

Les pulvérisateurs et leurs cônes de rallumage sont montés sur une boîte métallique, qui ferme complètement l'entrée de la gaine et des tubes d'appels d'air. Cette boîte est reliée latéralement, de part et d'autre, à une seconde boîte placée entre les longerons et où se fait l'aspiration de l'air nécessaire à la combustion. Des toiles métalliques empêchent tout refoulement de flammes au dehors, en cas de fuite importante de vapeur à l'intérieur de la gaine.

L'air, au sortir de cette boîte,

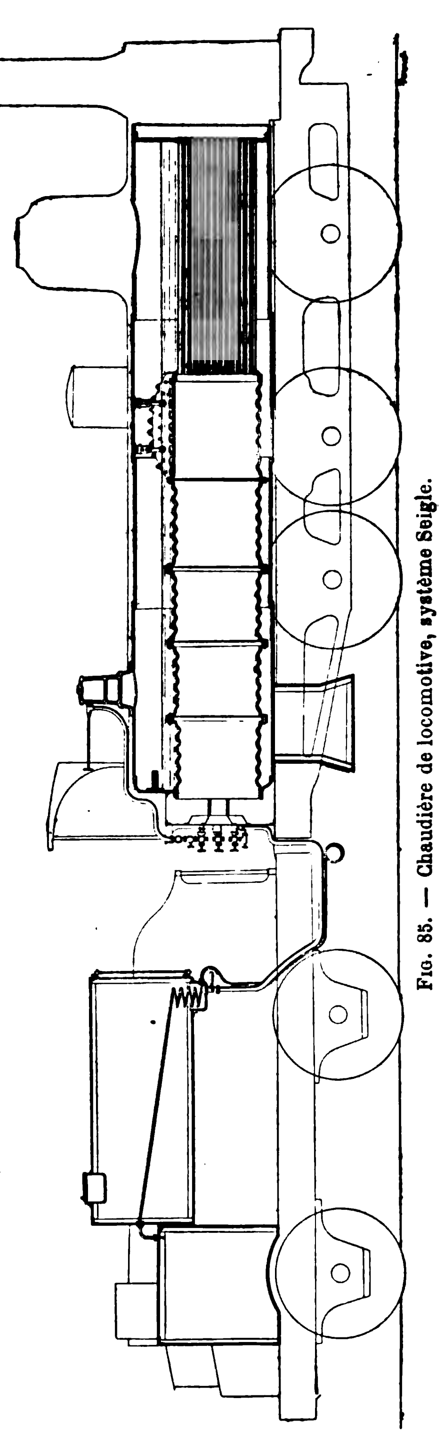


Fig. 85. — Chaudière de locomotive, système Seigle.

passe de chaque côté du corps cylindrique et arrive dans une autre boîte, d'où il s'écoule à la fois par l'entrée de la gaine et par les tubes d'appel d'air sous l'influence du tirage produit par l'échappement des cylindres dans la cheminée.

Deux registres, pour les marches avant ou arrière, s'opposent par leur fermeture à toute rentrée d'air froid à l'intérieur du foyer, quand les pulvérisateurs sont stoppés, pendant un long stationnement sous pression, par exemple.

Afin de conserver au combustible liquide sa fluidité pendant les grands froids, un serpentin réchauffeur recevant, par un tuyau, un courant de vapeur venant de la chaudière, traversera la caisse alimentant les pulvérisateurs; la vapeur condensée de ce serpentin s'échappera dans la caisse à eau et servira à la réchauffer.

La surface de chauffe directe est de $12^{m^2},23$, et la surface totale est de $133^{m^2},38$, de sorte que, si l'on compte sur une production de 50 kilogrammes de vapeur par heure et par mètre carré de surface de chauffe, dans les conditions moyennes de marche, la production horaire du générateur dépasserait 6.500 kilogrammes de vapeur. A la vaporisation modérée de 4.000 kilogrammes par heure, la chaudière donnerait un rendement compris entre 70 et 80 0/0.

CHAPITRE XI

BRULEURS A PÉTROLE (*suite*)

Applications en Angleterre. — Brevet Holden. — Autres brevets anglais. — Brûleurs américains. — *Brûleurs pour chaudières marines.* — Pulvérisation par la vapeur. — Appareil d'Allest. — Appareil d'Allest double. — Générateurs Seigle. — Pulvérisateur Kœrting. — Brûleur Orde. — Appareils divers. — Pulvérisation du pétrole par l'air soufflé. — Appareils d'Allest. — Appareils divers. — Appareil Kermode. — Chauffage au pétrole lampant. — Résultats généraux d'essais.

Applications en Angleterre. — Nous continuerons cette revue des pulvérisateurs employés sur les chemins de fer par la description de l'appareil anglais Holden, qui a reçu dans le monde entier de nombreuses applications.

Brevet Holden. — L'inventeur s'est appliqué à construire des foyers de locomotives en vue de les alimenter, soit à la houille, soit avec un mélange de combustible solide et de combustible liquide.

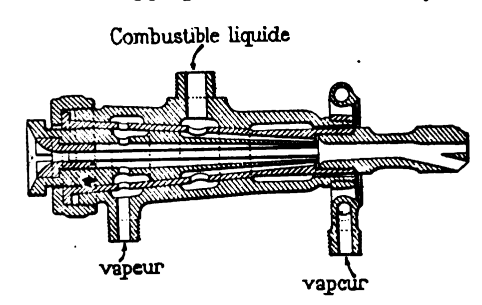


Fig. 86. — Injecteur Holden.

Les brûleurs Holden du type primitif sont disposés de manière à amener le combustible liquide au-dessus du niveau du feu de houille et à introduire l'air nécessaire à la combustion en un point tel que, quoi qu'il arrive, le feu reste distinct et isolé de la base solide inférieure.

Le combustible est envoyé à travers les tuyères à l'état semi-pulvérisé sous l'action de la vapeur admise par un robinet de prise de vapeur. Le jet de vapeur a une forme annulaire et aspire l'air

chaud venant des réchauffeurs de la boîte à fumée. Pour achever la pulvérisation du combustible, la vapeur arrivant par le robinet de prise de vapeur sort en une série de jets minces disposés autour d'une couronne creuse qui se trouve immédiatement en arrière de l'orifice de la tuyère. Ces jets entraînent un volume considérable d'air atmosphérique, volume variant avec la vitesse de la vapeur admise par le robinet de réglage, et, comme leurs directions se croisent, ils répartissent le pétrole pulvérisé dans des proportions égales sur toute la surface de la grille.

Sur la première chaudière locomotive alimentée au combustible

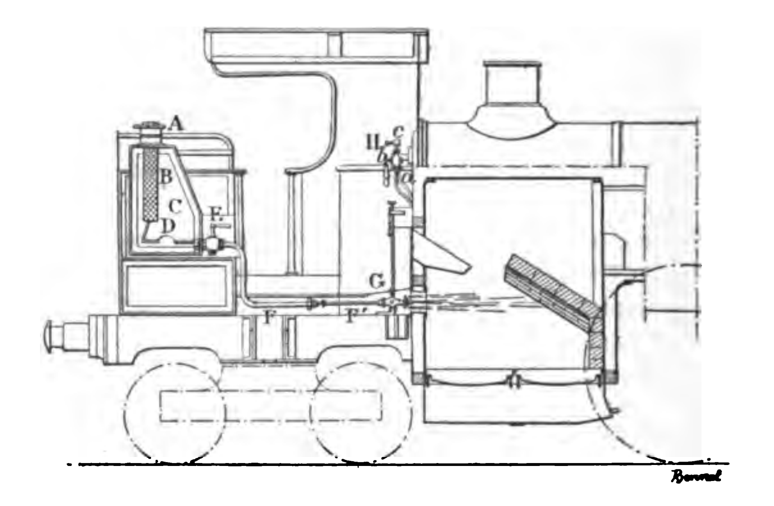


Fig. 87. — Application de l'injecteur Holden à une locomotive.

liquide, on expérimenta successivement un, deux, trois et quatre brûleurs. Ces essais firent reconnaître que deux brûleurs, débouchant sur l'avant du foyer, donnaient les meilleurs résultats. En conséquence, toutes les locomotives dont les foyers ont la largeur usitée sur les lignes à voie normale ont été munies de deux brûleurs; on emploie souvent avec succès un seul brûleur sur les locomotives à voie étroite. Si l'on emploie un plus grand nombre de brûleurs, on aggrave les risques de dérangement et de rupture des appareils, on complique les canalisations et on aboutit finalement à une augmentation de la dépense de vapeur; enfin il est alors plus difficile de régler l'alimentation quand on veut maintenir un feu lent, en d'autres termes il est plus facile de régler un ou deux brûleurs pour une con-

sommation modérée qu'un plus grand nombre pour une consommation proportionnellement plus faible.

La position la plus avantageuse est réalisée lorsque les brûleurs sont excentriques par rapport aux ouvertures du foyer. Cette disposition est économique au point de vue de la consommation de vapeur, car elle donne, par unité de vapeur, un volume maximum d'air entraîné.

M. J. Holden s'est efforcé de réduire au minimum la quantité de vapeur employée à la pulvérisation du combustible. Il aurait pu employer l'air comprimé qui a ses avantages, mais l'installation est encombrante sur une locomotive.

En ce qui concerne la composition de la couche solide au-dessus de laquelle doit brûler le combustible liquide, M. Holden a constaté que, quand il s'agit d'employer simultanément de la houille et du combustible liquide, on obtient les meilleurs résultats avec une couche mince de charbon à combustion lente et avec le registre du cendrier suffisamment ouvert pour produire un tirage aisé et assurer un feu vif.

Si l'on ne fait usage que de combustible liquide, la façon d'opérer est la suivante :

On procède d'abord à la mise en pression à l'aide d'un feu de bois et de charbon allumé à la manière habituelle. Dès que le manomètre accuse une pression de 2 à 3 kilogrammes, on égalise le feu et on le recouvre d'une couche de briques ou de chaux cassées en cubes d'au plus 75 millimètres de côté. Cette couche est répartie de telle sorte qu'elle ait le moins d'épaisseur vers le milieu du foyer et qu'elle en ait le plus le long des parois et dans les coins. On y jette quelques morceaux de résidus, ou de bois pour faire jaillir la flamme, puis on ouvre l'amenée de vapeur aux cônes centraux des brûleurs et on admet le combustible liquide par les valves de réglage. Tout d'abord le feu paraît sombre et peu actif, et à ce moment il dégage beaucoup de fumée. Après avoir approximativement adapté le réglage aux besoins du moment, on ouvre la seconde prise de vapeur afin d'admettre la vapeur dans les souffleurs annulaires en quantité suffisante pour entraîner l'air nécessaire à la combustion parfaite et pour pulvériser et distribuer le combustible liquide. Le feu ne tarde pas à s'éclaircir et la fumée disparaît complètement.

Les hydrocarbures d'une grande densité ont été reconnus les meilleurs combustibles. Si la matière liquide est relativement légère

et volatile, elle se vaporise rapidement et s'échappe par les tubes sans avoir brûlé, s'enflammant souvent au haut de la cheminée, tandis que les matières plus denses, à point d'ignition élevé, entrent dans le foyer sous forme de liquide simplement échauffé, se pulvérisent au lieu de se transformer en gaz et peuvent donc être plus efficacement distribuées sur la surface de la grille, avec la proportion voulue d'air atmosphérique entraîné. Une légère buée brunâtre s'échappant de la cheminée est le meilleur indice que la combustion s'effectue dans le foyer dans des conditions satisfaisantes. Si l'on ne voit pas la moindre fumée, il y a lieu de supposer que l'air est introduit en excès; d'autre part, une fumée épaisse, jaune ou noire, révèle l'insuffisance d'oxygène pour la combustion parfaite.

Le fonctionnement de l'appareil est plus ou moins bruyant, suivant la position des brûleurs par rapport à la grille. S'ils sont placés trop haut, l'introduction d'huile pulvérisée et d'air occasionne une série de petites explosions dans les produits de la combustion de la couche inférieure, et il en résulte un bourdonnement insupportable, tandis que, si le feu de combustible liquide est maintenu dans le plan du feu de houille, le fonctionnement est presque silencieux.

Les consommations comparées des divers combustibles à égalité de travail sont les suivantes, pour les locomotives du Great Eastern Railway.

NATURE DU COMBUSTIBLE		KILOGRAMMES PAR KILOMÈTRE	
		1891	1900
Houille seule		9,583	9,097
Houille et pétrole	Houille	3,100	3,324
	Pétrole	3,440	2,958
Pétrole seul		»	4,650

D'autres Compagnies anglaises emploient le même dispositif.

L'injecteur Holden a été essayé en France par les Compagnies d'Orléans, de Paris-Lyon-Méditerranée et de l'Ouest. Dans l'Extrême-Orient, dans l'Afrique du Sud, le brevet Holden a été appliqué. Enfin, en Hongrie et en Roumanie, un certain nombre de locomotives sont munies d'injecteurs Holden.

Autres brevets anglais. — L'injecteur Taite et Carlton est une mo-

dification du brûleur Holden récemment appliquée en Angleterre au chauffage des torpilleurs et des locomotives.

L'arrivée d'huile au brûleur est commandée par un volant, et on peut augmenter le débit au moyen d'un autre volant concentrique au premier. L'entraînement de l'huile est produit par un courant de vapeur réglé par un robinet et sa pulvérisation par un autre jet de vapeur débouchant directement à la partie antérieure de l'espace annulaire de l'injecteur par un tube d'environ 18 millimètres de diamètre.

Comme dans le système Fvardofski, on emploie plusieurs injecteurs dont les jets se rencontrent au centre du foyer, afin d'obtenir une combustion complète et d'empêcher la corrosion des tôles du foyer. Il y a quatre injecteurs placés chacun sur une des faces verticales du foyer. Cet injecteur se prête bien à l'emploi du pétrole brut de Bornéo.

Dans une variante, brevetée par MM. Holden, Bell et Taite, la vapeur d'eau est remplacée par du pétrole refoulé par une pompe à un vaporisateur qui est relié aux injecteurs.

Nous signalerons aussi l'injecteur Clarkson qui n'emploie pas non plus la vapeur comme propulseur du liquide combustible.

Le pétrole est pompé dans un réservoir en cuivre sous une pres-

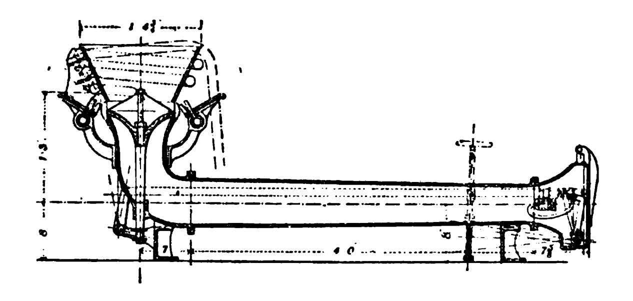


Fig. 88. — Brûleur à pétrole Clarkson.

sion de $2^{kg},8$ donnée par un matelas d'air, puis il passe par un tuyau au serpentin vaporisateur qui l'amène à l'injecteur à aiguille manœuvré par la manette que l'on voit à droite de la figure 88.

La pompe du réservoir se règle automatiquement, de sorte que le brûleur, une fois allumé, marche de lui-même sans arrêt, tant qu'il reste du pétrole au réservoir.

Brûleurs américains. — Le brûleur Booth (*fig.* 89) est employé sur le Santa-Fé Railroad. Le pétrole venant du tender en traversant une sou-

pape régulatrice (*fig.* 90) contrôlée par le chauffeur, sort par l'orifice de la chambre supérieure, orifice qui a 75 millimètres de largeur et 12 millimètres de hauteur. A sa sortie, le jet de pétrole rencontre un jet de vapeur en lame mince sortant de la chambre inférieure par un orifice de 87 millimètres sur $0^{mm},8$, ce qui l'envoie dans le foyer à l'état pulvérisé.

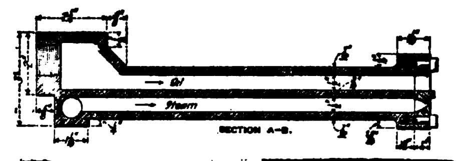


Fig. 89. — Brûleur Booth.

On applique également ce brûleur aux chaudières munies du foyer en tôle ondulée, système Vanderbilt, avec garniture en briques réfractaires : l'avantage de la suppression des entretoises est très précieux pour les foyers à pétrole, parce que l'on peut alors forcer les feux sans risquer de brûler les entretoises.

Sur les locomotives du Santa-Fé Railroad, du type Player Baldwin, on applique le foyer à pétrole système Player à trois tubes ondulés de $2^m,13$ sur $0^m,686$ avec garniture en briques réfractaires. Le pétrole est chauffé sur le tender par la vapeur d'échappement de la pompe du frein. Dans chaque tube de foyer, le jet de pétrole qui arrive dans l'axe est brisé sur le pont en briques placé au milieu du tube et, à l'avant des tubes, se trouve un double anneau de briques qui protège les tubes et achève le brassage des gaz.

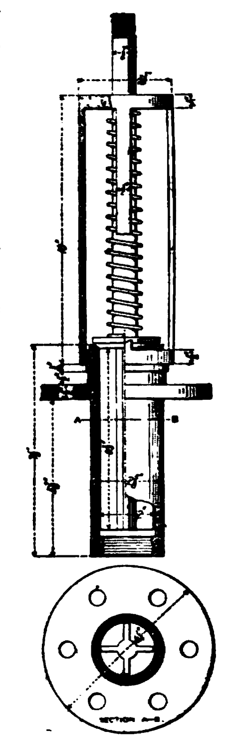


Fig. 90. — Soupape de sûreté Booth.

Le Santa-Fé Railroad a expérimenté plusieurs dispositions de garnitures réfractaires pour les foyers. Sans elles l'action de la flamme serait trop vive sur les tôles du foyer, surtout si l'on considère que le degré de chaleur peut varier presque instantanément. On remplace la grille par une sole réfractaire, d'abord pour réduire au taux convenable la section d'arrivée de l'air, mais aussi et principalement parce que cette sole doit former une masse incandescente sur laquelle arrivera le pétrole en poussière, si l'on veut que la combustion se fasse dans les conditions les plus favorables. Le massif de briques, une fois chaud, conserve une température assez élevée pour

qu'on puisse éteindre la flamme en arrivant aux gares et la rallumer immédiatement au moment du départ.

Dans l'installation, il faut une conduite d'air comprimé allant de la machine au réservoir d'huile et destinée à assurer l'écoulement rapide du pétrole. Une soupape de sûreté placée sur le réservoir empêche la pression d'air de dépasser la limite indiquée et prévient, en outre, les accidents pouvant résulter d'une accumulation de gaz. Le pétrole sort par un tuyau muni d'un clapet que tient soulevé une corde fixée à l'abri de la locomotive. Si l'attelage de la machine et du tender vient à se rompre, la corde casse et le clapet se ferme, ce qui empêche le pétrole de se répandre à terre.

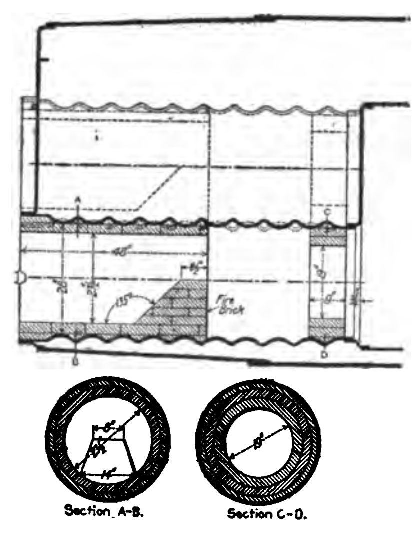


Fig. 91, 92, 93. — Foyer Player.

Sur les lignes du Gulf Colorado and Santa Fé Railroad, on utilise les

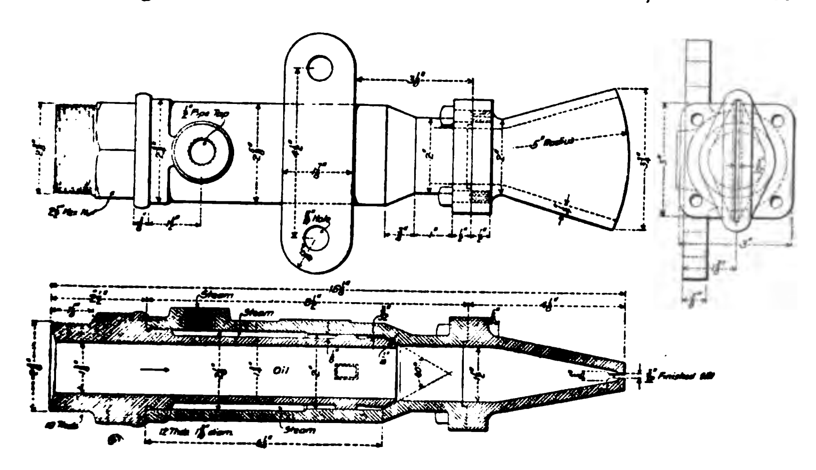


Fig. 94, 95, 96. — Brûleur Lundholm.

pétroles du Texas. Le foyer a une voûte et des parois en briques réfractaires; le brûleur est placé sous le cadre du foyer, et la grille est enlevée.

On emploie les brûleurs Lundholm (*fig.* 94, 95 et 96) et Booth à soupape de sûreté. Avec les eaux impures qui donnent des dépôts calcaires, il faut prendre des précautions spéciales pour éviter les coups de feu produits grâce à l'intensité de la combustion. Sur le Gulf Colorado and Santa Fé Railroad, l'économie due à l'emploi du pétrole a varié de 25 à 40 0/0.

Le brûleur employé sur le Southern Pacific Railroad débouche sous le cadre dans un four en briques réfractaires suspendu aux parois du foyer. Ce four a 2 mètres de long et laisse entre son autel et la plaque

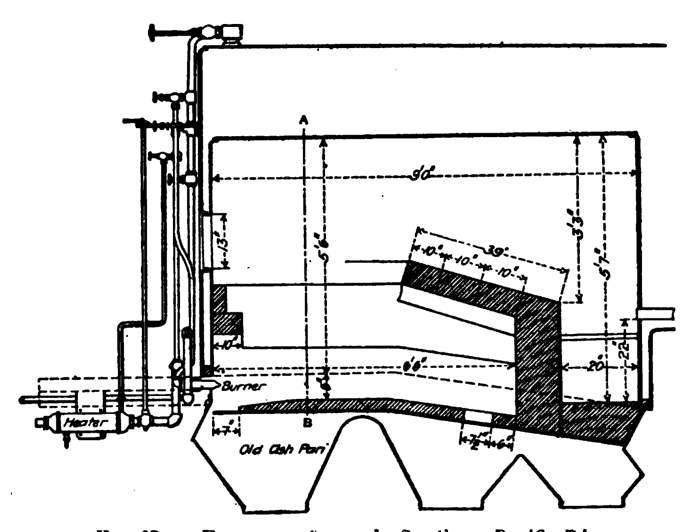


Fig. 97. — Foyer au pétrole du Southern Pacific R[d].

tubulaire un espace de 0m,50; il a deux entrées d'air, l'une sous le brûleur et l'autre sous la voûte; les parois latérales sont juste assez hautes pour protéger les rivures du cadre. La vapeur arrive au brûleur entre l'air et le pétrole, qui se trouvent ainsi réchauffés, et l'admission du pétrole est réglée par un robinet que l'on manœuvre au moyen d'une manette à vis. Une butée est disposée de manière que la manette s'y arrête dans la position correspondant à une admission de pétrole capable de maintenir la pression aux arrêts; un bouchon permet de fixer la manette dans cette position; avant son arrivée au brûleur, le pétrole passe dans un réchauffeur à vapeur. Le tender porte un réservoir principal à pétrole, qui occupe l'emplacement du charbon, et un réservoir auxiliaire placé derrière le premier;

tous deux peuvent être enlevés facilement pour être remplacés au besoin par du charbon ; le pétrole du grand réservoir est chauffé par un serpentin de vapeur.

Bruleurs pour chaudières marines. — Parmi les premiers essais de chauffage au pétrole sur les navires, nous citerons ceux qui ont été faits en 1868, par Sainte-Claire Deville et Dupuy de Lôme, sur le yacht *le Puebla*, avec une grille du système Audouin.

Divers autres essais ont été faits, ayant tous pour but l'adaptation du chauffage au pétrole à des chaudières qui avaient été construites pour l'emploi exclusif du charbon (appareils Dickey, Tarbutt, Bultard, Karapetof, Sadler) ; les résultats tout d'abord obtenus ont été médiocres. Ceux qu'ont donné les systèmes mixtes Nobel, Jensen, Anderson, n'ont pas été plus brillants.

Pour appliquer le chauffage au pétrole aux chaudières de navires, on a cherché aussi à le brûler en le faisant passer à travers un lit poreux, en le répandant dans des rigoles très minces, en le faisant couler goutte à goutte sur des soles chauffées à blanc ; mais ces dispositifs donnaient lieu à une énorme production de fumée, qui obstruait les tubes et éteignait la flamme.

On est parvenu aujourd'hui à obtenir de bons résultats, grâce à l'emploi de dispositifs qui permettent de mieux diviser le combustible. On le pulvérise avec des appareils qui introduisent le pétrole dans le foyer au moyen d'un jet de vapeur ou d'air comprimé et le rendent à l'état de rosée très fine, ainsi que cela a été réalisé pour les locomotives.

Pulvérisation par la vapeur. — Il existe un grand nombre d'appareils pulvérisateurs. Ceux qui sont actuellement en usage sont presque tous à vapeur. Certains font écouler par un orifice long et étroit une nappe de pétrole sur un jet de vapeur qui passe par un orifice semblable ; la largeur de ces orifices varie de 1 à 2 millimètres ; dans beaucoup d'appareils ces orifices sont munis d'un système de vannes de réglage permettant de faire varier le débit des orifices d'écoulement ; mais ils s'encrassent très rapidement et ne fonctionnent plus que d'une façon irrégulière ; en effet, même après un bon filtrage, le pétrole s'épaissit et bouche l'orifice d'écoulement.

De tels appareils sont dits à lames plates ; les appareils à lames circulaires sont meilleurs, mais présentent en partie les mêmes

inconvénients; le pétrole s'écoule sous forme d'une nappe cylindrique, au centre de laquelle la vapeur de pulvérisation s'échappe à plein jet; ces appareils, comme les précédents, offrent à l'écoulement du pétrole des lames trop minces et, de plus, il n'y a qu'un robinet de vapeur qui ne saurait régler à la fois et la vapeur et la quantité.

En France, M. d'Allest a notablement perfectionné les appareils primitifs.

Les conditions à réaliser pour un bon pulvérisateur à vapeur sont les suivantes :

La vapeur doit arriver en quantité suffisante pour pulvériser le pétrole au fur et à mesure qu'il s'écoule; il faut aussi que cette vapeur soit animée de la vitesse exactement nécessaire à la meilleure pulvérisation, car, si la vitesse est trop grande, la flamme s'éteint et, si elle est trop faible, la pulvérisation devient incomplète; le pétrole qui s'écoule en gouttelettes échappe à la combustion, parce qu'il ne brûle complètement que s'il est bien pulvérisé.

Il faut donc que l'orifice d'échappement de la vapeur ait une certaine largeur variable avec la pression de la chaudière; il faut aussi que le débit de la vapeur augmente en fonction de la quantité de pétrole à brûler, qui doit être déterminée par la largeur de l'orifice.

L'orifice d'écoulement du pétrole doit avoir au minimum 1 millimètre de largeur, sinon le liquide s'épaissit, forme des grumeaux et bouche rapidement l'ouverture. Si cet orifice est trop large, le pétrole arrive en trop grande quantité et ne brûle plus complètement, parce qu'il ne se mélange plus bien avec la vapeur et l'air.

Il faut enfin que les orifices d'écoulement de pétrole et de vapeur puissent être réglés facilement en marche, et que l'on puisse aisément démonter et remonter l'appareil en cas d'obstruction. Après de nombreuses recherches, faites sur des appareils à lames plates, sur des appareils à lames circulaires, et sur des appareils avec admission de vapeur centrale annulaire, M. d'Allest s'est arrêté au type suivant, qui a donné les meilleurs résultats comme rendement et régularité de marche et s'est aussi le mieux prêté à des combinaisons simples, pour le réglage des orifices et la rapidité du démontage des organes.

Appareil d'Allest. — Le pulvérisateur d'Allest se compose (*fig.* 98) d'une boîte conique A munie de deux tubulures B, et fondue avec une deuxième boîte M, qui porte un bossage N; cette deuxième

boîte, filetée à une extrémité, peut recevoir une buse tronconique P, venue elle-même de coulée avec un pavillon cylindrique R. Un des fonds de la boîte centrale A est fermé par un presse-étoupes J, qui s'appuie par deux ergots sur deux talons à plan incliné et assure l'étanchéité du joint conique. Cette boîte à étoupes porte une tige E filetée en F et munie d'un volant G; si l'on fait tourner cette tige, elle avance ou recule selon le sens de la rotation et vient fermer complètement la sortie de la boîte A, ou laisse, entre l'arête circulaire dont elle est munie à une extrémité et les parois de la boîte A, une zone annulaire dont la largeur peut varier de 1 à 2 millimètres.

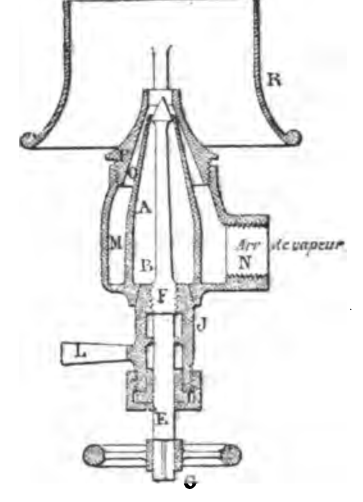


Fig. 98. — Pulvérisateur d'Allest.

Le pétrole arrive dans l'appareil par la tubulure B; il s'écoule par la zone annulaire; la vapeur pénètre dans la boîte extérieure M, par un robinet placé sur le bossage N, et arrive dans la boîte O en sortant sous forme de nappe circulaire. En rencontrant dans son parcours le pétrole, elle l'entoure complètement, le pulvérise et le projette dans le foyer en même temps qu'elle entraîne avec elle l'air nécessaire à la combustion passant par le pavillon R.

La quantité de pétrole est réglée par le déplacement de la tige E, et celle de la vapeur par la buse P, avec le filetage dont elle est munie.

L'allumage est de la plus grande simplicité. On ouvre d'abord légèrement le robinet de vapeur, puis on introduit par un regard un bouchon, gros comme le poing, de coton imbibé d'essence de térébenthine enflammée, et l'on ouvre graduellement par le volant G l'introduction du pétrole; aussitôt jaillit une flamme, hésitante d'abord, puis devenant fixe dès que le rapport des arrivées de vapeur et de pétrole est réglé.

A partir de ce moment, les ouvertures et, par suite, la quantité de pétrole à brûler peuvent augmenter au fur et à mesure que s'élève la température des briques de la sole et du ciel de foyer. Lorsque ces briques sont portées au rouge, on obtient une combustion complète, une flamme longue et brillante, éblouissante même, tous les gaz

brûlant avant de pénétrer dans le faisceau tubulaire; il ne se produit aucune fumée; c'est à ce moment qu'on peut augmenter par une admission progressive de vapeur et de pétrole l'intensité de la chauffe jusqu'à ce que les gaz sortent légèrement brunis par la cheminée, ce qui indique que l'on a atteint le maximum de rendement de l'appareil.

S'il y a encrassement de l'appareil, par suite d'un fonctionnement prolongé, ou si un corps étranger échappé à la filtration dans la caisse de dépôt du pétrole pénètre dans le pulvérisateur et en modifie la marche par sa présence dans la boîte A, il suffit de faire tourner plusieurs fois le volant G dans un sens et dans l'autre, afin d'augmenter brusquement l'épaisseur de la zone annulaire et de faciliter ainsi l'évacuation de l'obstacle échappé au filtrage.

Pour visiter l'appareil, il faut d'abord fermer le robinet de naphte placé à l'entrée du conduit B, faire faire à la boîte à étoupes J un quart de tour, en frappant sur le taquet L; on attire ensuite la boîte à étoupes vers soi; la chambre de pétrole est alors à découvert, et l'on peut se rendre compte des causes de mauvais fonctionnement. Il y a deux cas, celui de la présence de minium ou d'autres corps étrangers provenant de joints, entraînés dans cette chambre et ne pouvant passer à travers la zone annulaire de sortie du pétrole, ou bien celui où la communication s'établit par la paroi séparant la chambre de pétrole de celle de vapeur, entre la vapeur et le pétrole, par une soufflure de fonderie qui rend l'écoulement du pétrole intermittent.

En manœuvrant la tige E et le robinet de vapeur on peut régler convenablement la quantité d'air passant par le pavillon R; si l'air arrive en excès, il entraîne dans la cheminée une grande quantité de chaleur; dans le cas contraire, il y a combustion incomplète et production de fumée.

Pour pouvoir placer plusieurs appareils dans le même foyer sans augmenter le tuyautage, M. d'Allest a imaginé le dispositif suivant :

Les tubulures B de chaque brûleur sont filetées l'une à gauche et l'autre à droite et sont raccordées par un manchon D (*fig.* 99). On peut ainsi monter un chapelet de deux, trois ou quatre pulvérisateurs ; le pétrole arrivant par la tubulure B se distribue à volonté par l'une ou par l'autre aiguille.

Si l'on veut modérer le feu dans un foyer comportant deux appareils, par exemple, on diminue d'abord l'écoulement du pétrole dans l'un d'eux, puis dans l'autre ; on peut même éteindre un brû-

leur, quitte à le rallumer au contact du voisin, si l'on veut forcer le feu à un moment donné.

Ces appareils peuvent brûler de 10 à 80 kilogrammes de pétrole à l'heure. Deux appareils conjugués brûlant ensemble 160 kilogrammes de pétrole pourront donc évaporer, à raison de 13 litres par kilogramme de combustible, $160 \times 13 = 2.080$ litres d'eau par heure, et, en admettant qu'on évapore 30 litres par mètre carré de surface de chauffe, ils conviendront à un foyer correspondant à une surface de chauffe de 70 mètres carrés environ.

Mais, sur une chaudière de torpilleur, il faut vaporiser beaucoup

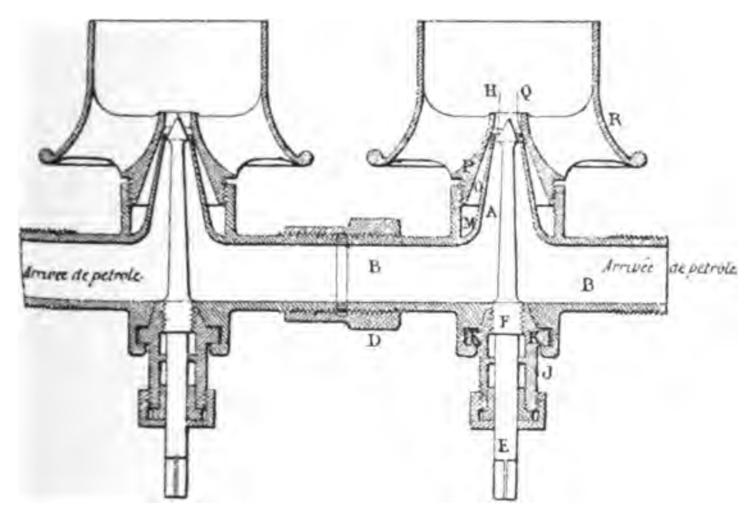


Fig. 99. — Pulvérisateurs d'Allest accouplés.

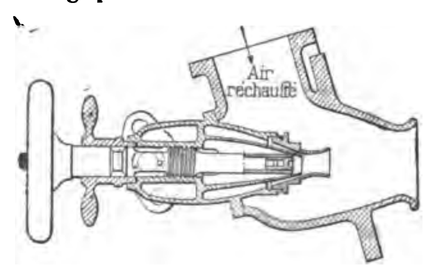
plus de 30 litres d'eau par mètre carré de surface de chauffe. Au lieu de brûler 160 kilogrammes de pétrole dans un foyer, il faudra brûler le double et même davantage si l'on peut.

Appareil d'Allest double. — A cet effet, M. d'Allest a fait construire un pulvérisateur à double lame de vapeur dont l'effet de pulvérisation est considérable et qui peut réduire en fine poussière des produits très épais.

Dans cet appareil, le liquide à brûler arrive par une tubulure (*fig.* 100 et 101) dans une boîte de combustion en s'écoulant sous forme de masse cylindrique ; l'épaisseur de cette nappe est rendue variable par la position du tube visible sur la figure, que l'on fait avancer ou reculer, en

le faisant tourner au moyen d'un volant. La vapeur pénètre dans le brûleur suivant la flèche et passe en partie dans la boîte extérieure pour s'écouler sous forme d'une masse cylindrique, en partie par le tube central pour s'écouler également sous forme d'une nappe cylindrique.

Le pétrole s'échauffe très fortement au contact de la vapeur du tube central et de la boîte extérieure et sort entre deux lames cylindriques qui, en se recoupant, le brassent énergiquement et le réduisent en poussière ; les deux jets de vapeur produisent un appel énergique et entraînent en même temps l'air nécessaire à la combustion, air que l'on a préalablement chauffé en le faisant circuler dans la cheminée au contact des gaz chauds qui s'en échappent.



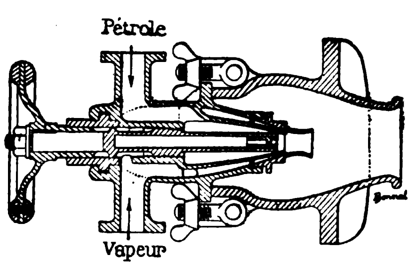


Fig. 100 et 101. — Pulvérisateur double d'Allest.

Cet appareil se règle et se démonte comme le précédent; il peut brûler jusqu'à 400 kilogrammes de pétrole à l'heure sans trace de fumée.

Sur un des navires de la Compagnie Fraissinet, *l'Aude*, muni en 1885 des appareils d'Allest, la consommation de 125 kilogrammes de pétrole à l'heure permettait de développer 170 chevaux. La vaporisation moyenne, ramenée à 100°, fut de 14kg,100. Toutefois le Service des Constructions navales, appelé à contrôler les expériences de M. d'Allest, ne fixa qu'à 12 kilogrammes le maximum sur lequel on serait en droit de compter.

Générateurs Seigle. — M. Adolphe Seigle a étudié divers types de générateurs disposés de façon à faire produire au pétrole son maximum d'utilisation. Ces générateurs sont assez analogues à ceux que nous avons décrits pour les locomotives.

Le pétrole est dirigé par des pulvérisateurs à jet de vapeur dans des gaines ou tubes télescopiques formés (*fig.* 102) d'une série de manchons indépendants, disposés à la suite les uns des autres, et formant ajutage; de la sorte, dans chaque intervalle, se produit

l'appel naturel, par le simple entraînement du courant de flamme, de l'air nécessaire à la combustion dans la gaine suivante, et la combustion, commencée à la sortie du pulvérisateur, se continue à l'intérieur de la gaine, car elle est alimentée par l'air qui pénètre entre deux manchons successifs. L'intensité du jet combustible est réglée pour que la combustion soit achevée, ou presque achevée, à la sortie de la gaine.

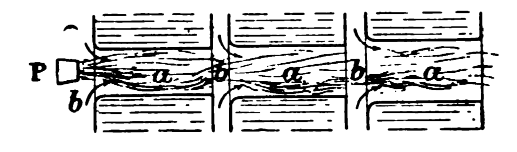


Fig. 102. — Générateur Seigle.

La combustion s'opère dans les gaines sous forme d'une flamme allongée, dont la température peut être évaluée à 1.700° et dont le pouvoir rayonnant considérable s'exerce sur des surfaces de chauffe situées à une distance excessivement réduite du faisceau de gaz enflammés.

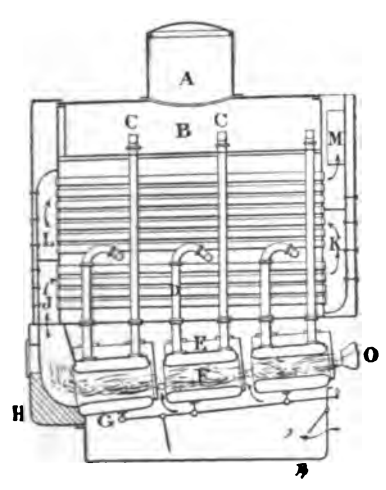


Fig. 103. — Ensemble du générateur Seigle.

Dans un générateur Seigle essayé par M. Busquet, professeur du Cours de Machines à l'École centrale lyonnaise, la pression moyenne était de 5kg,250. La quantité de combustible dépensée (qui, pour cet essai, était de l'huile lourde de houille), a été de 31 kilogrammes et le poids de vapeur produit de 352 kilogrammes.

La vaporisation apparente par kilogramme d'huile serait donc de :

$$\frac{352}{31,1} = 11^{kg},31 \text{ à } 5^{kg},250 \text{ de pression.}$$

D'autres essais effectués avec divers pétroles ont permis de compter sur une vaporisation, à 100°, de 18kg,82 par kilogramme d'hydrocarbure.

On obtiendrait donc un rendement de :

$$\frac{18,82}{20,5} = 0,91.$$

Pulvérisateur Kœrting. — Dans le pulvérisateur Koerting, le

pétrole arrive par une aiguille à hélice (*fig.* 104 et 105) avec aspiration d'air au travers de l'un des tourillons sur lesquels l'appareil peut pivoter de manière à diriger à volonté le jet de flamme.

Pour appliquer l'injecteur Kœrting il faut avoir soin de donner au pulvérisateur et à la boîte à tamis les dimensions nécessaires pour que le fonctionnement soit satisfaisant. L'appareil ne pulvérise bien le pétrole qu'avec une pression à la chaudière assez élevée.

A gauche de la boîte à feu, on installe une petite pompe à pétrole Worthington alimentée de vapeur par la chaudière.

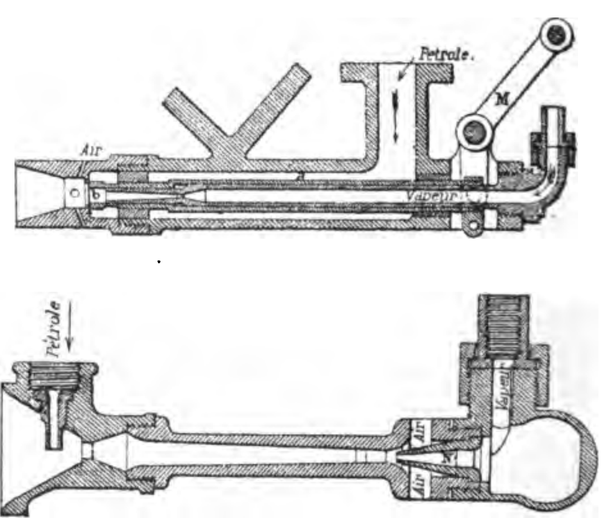


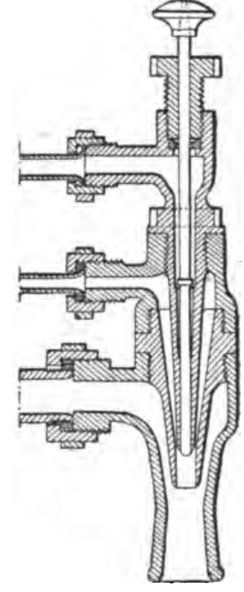
Fig. 104 et 105. — Pulvérisateur Kœrting.

Cette pompe introduit le pétrole à 1 ou 2 atmosphères dans un réchauffeur, d'où il passe dans une boîte à tamis où les impuretés sont retenues, puis dans deux pulvérisateurs Kœrting placés sur la partie supérieure fixe de la porte de foyer dont la partie inférieure est mobile pour le fonctionnement au combustible solide. Un serpentin sert à réchauffer le pétrole.

L'aiguille à hélice de l'appareil Kœrting s'obstrue souvent, et il suffit que quelques impuretés traversent le tamis pour que la pulvérisation soit arrêtée. Le nettoyage est facile, car il suffit de dévisser l'aiguille et de la nettoyer ou de la remplacer par une neuve.

Brûleur Orde. — Le brûleur de M. Orde a été l'objet d'applications très intéressantes en Angleterre, notamment sur le *SS. Cardium*,

navire-réservoir anglais destiné au transport du pétrole, qui a été soumis à des essais en employant du pétrole de Bornéo. D'ailleurs, les appareils sont disposés de manière qu'on puisse marcher soit au pétrole, soit à la houille en démontant les brûleurs et en retirant les briques réfractaires destinées au chauffage de l'air qui pénètre dans le foyer.


Fig. 106. — Brûleur Orde.

Le brûleur Orde est de petites dimensions (*fig.* 106), et il est disposé de manière à permettre un réglage facile de l'alimentation du combustible liquide. Celui-ci arrive aux brûleurs, où il rencontre le jet de vapeur surchauffée et d'air chaud qui est lancé dans le foyer.

La vapeur qui sert à produire la pulvérisation est chauffée par son passage d'abord à travers un serpentin et ensuite à travers un tuyau disposé dans le foyer; elle pénètre alors dans une petite chambre collectrice d'où elle se rend surchauffée au brûleur, dans lequel elle se mélange au combustible liquide chaud ou vaporisé.

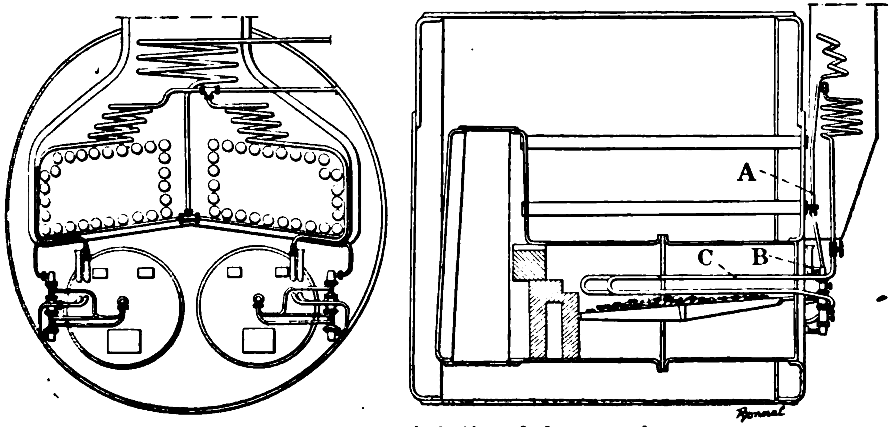


Fig. 107. — Disposition du brûleur Orde sur un foyer.

A l'intérieur du foyer est installé un second tube dont une des extrémités s'ouvre à l'air libre; ce tube est destiné à chauffer l'air qui le

traverse et qui pénètre par son autre extrémité dans la petite chambre collectrice, d'où il se trouve aspiré par le brûleur.

Le chauffage préalable du pétrole et de l'air et le surchauffage de la vapeur ont pour effet de déterminer une combustion complète. De plus, le refoulement sous pression du pétrole chaud ou vaporisé dans le foyer empêche l'obstruction des brûleurs par les corps étrangers ou les dépôts qui pourraient être contenus dans le pétrole ; il facilite en outre la pulvérisation ou la vaporisation du pétrole et tend par

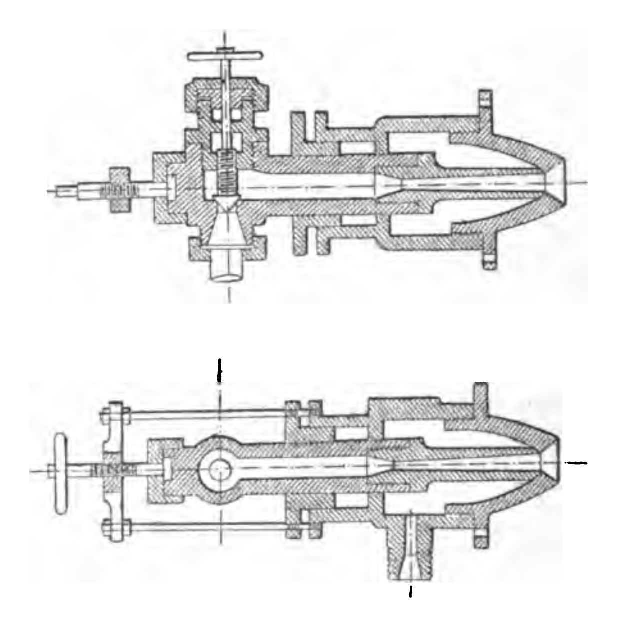


Fig. 108 et 109. — Pulvérisateur Guyot.

suite à réduire la quantité de vapeur qu'il faut consommer pour réaliser cette opération.

Le pétrole est réchauffé sous volume constant, ce qui empêche sa décomposition. Pour maintenir le volume constant, il faut comprimer le pétrole sous une pression qui augmente avec sa température, de $0^{kg},05$ environ par centimètre carré et par degré de température; cette pression est de $4^{kg},2$ pour une température de 140°.

Appareils divers. — En dehors de l'appareil qui a été construit par les Forges et Chantiers du Havre et qui est analogue à celui décrit pour les locomotives (transformation du foyer Sainte-Claire Deville), nous en citerons plusieurs autres.

Dans le foyer au pétrole du Temple, le brûleur envoie sa flamme dans un moufle en briques réfractaires recevant à l'arrière l'air nécessaire à la combustion avec admission d'air chauffé qui achève la combustion. Les gaz s'échappent par une cheminée après avoir traversé le faisceau tubulaire. La haute température du moufle et le long brassage des gaz assurent la combustion complète du pétrole. On peut marcher au vent forcé en fermant le trou d'admission de la flamme à l'arrière du moufle et on y refoule l'air d'un ventilateur; une cloche empêche l'extinction du brûleur par soufflage. Une porte permet l'accès du moufle pour les réparations.

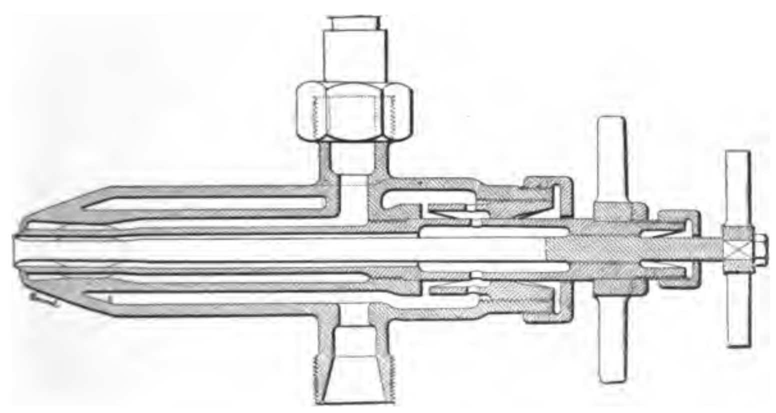


FIG. 110. — Brûleur Rusden et Eeles.

Le pulvérisateur Guyot, très employé sur les bâtiments de la flotte française, est basé sur les mêmes principes que les appareils d'Allest, mais se rapproche davantage du type Giffard. La buse d'arrivée du pétrole peut à volonté se déplacer suivant son axe, en amplifiant ainsi les dimensions de l'espace annulaire offert au passage de la vapeur. Le réglage s'opère également au moyen d'une soupape à pointeau. Une simple inspection des figures 108 et 109 montre combien est facile et rapide le démontage de l'appareil pour effectuer le nettoyage des buses.

L'application du système Holden a été faite aux foyers des chaudières d'un navire qui fait un service régulier sur la Tamise. Ce steamer, qui brûlait 1 tonne 1/2 de houille par journée de dix-neuf heures, consomme maintenant 914 kilogrammes de combustible liquide et 101^{kg},5 de charbon.

Sur le contre-torpilleur anglais *Surly* l'alimentation continue des appareils Holden est assurée par des réservoirs placés dans les soutes et à la partie supérieure de la chaufferie. Ce navire possède quatre chaudières dont deux fonctionnent au combustible liquide. On emploie des garnissages de briques sur les grilles, comme dans les foyers de locomotives.

Citons également les injecteurs à vapeur système Cuniberti que l'on trouve appliqués sur un certain nombre de torpilleurs italiens et de navires de guerre allemands, notamment le *Siegfried* et le *Weissembourg*.

Enfin la figure 110 représente le brûleur Rusden et Eeles essayé sur plusieurs navires-réservoirs en Angleterre.

Pulvérisation du pétrole par l'air soufflé. — L'emploi de la vapeur pour la pulvérisation du pétrole, à bord d'un navire, a l'inconvénient de dépenser beaucoup d'eau. Cette dépense est d'environ 1/10 de la production totale; elle oblige, à bord des bâtiments où toutes les machines sont à condensation par surface et où on emploie les chaudières à haute pression, à remplacer la quantité d'eau douce absorbée par les pulvérisateurs par de l'eau salée; par suite, les chaudières s'usent rapidement. Avec de la vapeur surchauffée dans un tuyau qui traverse le foyer, la dépense serait moindre.

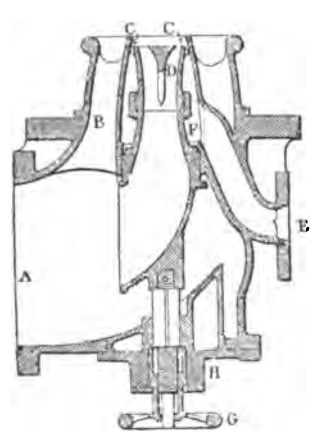


FIG. 111. — Pulvérisateur d'Allest à air soufflé.

Appareils d'Allest. — Pour remédier à cet inconvénient, M. d'Allest a étudié des appareils pulvérisateurs fonctionnant par l'air comprimé. Il y a deux types de ces appareils.

Dans le premier type, l'air comprimé à 2 ou 3 kilogrammes pénètre dans le pulvérisateur à vapeur déjà décrit, en lieu et place de la vapeur; il ne sert donc qu'à la pulvérisation et on laisse entrer par d'autres ouvertures l'air nécessaire à la combustion.

La solution ne présente pas de difficulté; il suffit d'avoir, au voisinage de la chaufferie, une petite pompe à vapeur comprimant l'air nécessaire dans un réservoir; l'échappement du cy-

lindre se fait au condenseur pour éviter toute dépense d'eau douce.

Une autre solution consiste à modifier l'appareil, de telle façon que tout l'air nécessaire à la combustion passe par l'appareil lui-même et soit mélangé aussi intimement que possible au combustible.

Cette solution, quoique plus délicate à réaliser, est préférable, car elle permet d'obtenir des vaporisations élevées, c'est-à-dire qu'elle simplifie le problème des chaudières soufflées.

Le pulvérisateur d'Allest fonctionnant par l'air comprimé diffère du pulvérisateur à vapeur en ce que la lame de pétrole, au lieu d'être continue, est divisée en quatre parties pour lui permettre d'avoir une plus grande épaisseur; en outre, cette lame est comprise entre deux lames d'air, l'une intérieure, l'autre extérieure, afin d'augmenter les surfaces de contact.

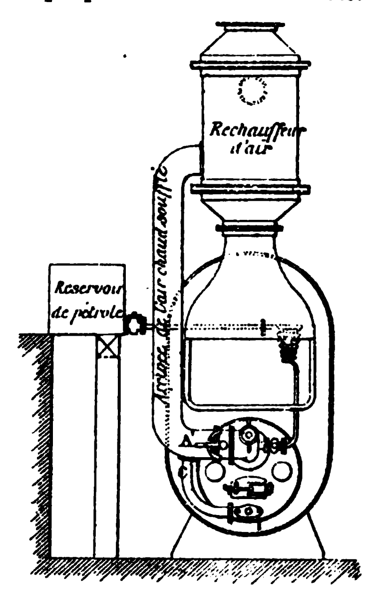


Fig. 112. — Installation d'un pulvérisateur à air soufflé système d'Allest.

Dans l'appareil à air soufflé l'air pénètre par la tubulure A, dans la boîte B, d'où il s'écoule dans le foyer en nappe circulaire, partie par l'ouverture C, partie par la buse centrale D.

Le pétrole arrive dans l'appareil par la tubulure E, qui est munie d'un robinet d'arrêt, pénètre dans la boîte F, qui entoure la buse centrale et les parois de la chambre F; il est ainsi projeté dans le foyer et entraîné entre deux lames d'air; il s'enflamme immédiatement et brûle mieux que par la pulvérisation à la vapeur. Pour régler la quantité de pétrole introduite dans le foyer, d'après l'activité de la combustion, on fait varier l'épaisseur de la nappe d'écoulement en manœuvrant la buse centrale D au moyen du volant G.

Le démontage est simple et rapide. Le couvercle H, à mouvement de baïonnette, est muni de deux poignées; on le retire, en lui faisant faire un quart de tour, et il entraîne avec lui la buse centrale; l'appareil est alors complètement dégagé et les arêtes d'écoulement peuvent être facilement nettoyées.

L'air nécessaire à la combustion arrive dans le foyer après avoir été chauffé; il est envoyé par un ventilateur dans un faisceau tubulaire où passent les produits de la combustion. L'air chaud arrive ensuite à l'appareil où il rencontre le pétrole et l'entraîne en le pulvérisant dans le foyer; une tubulure placée sur le tuyau d'arrivée d'air, en conduit une certaine quantité dans le cendrier; cet air passe sous la sole du foyer, traverse les tubes et arrive dans la boîte à feu compléter la combustion.

Cette disposition, qui a de grands avantages sur la pulvérisation à la vapeur, permet de régler au moyen du ventilateur la quantité d'air à admettre dans le foyer et de forcer cette quantité pour de grandes productions. On a ainsi une chaudière soufflée, avec l'avantage d'un chargement automatique du combustible, et les chauffeurs ne sont pas enfermés dans un réduit où règne une atmosphère nuisible à la santé et au travail.

Quand on emploie l'air comprimé, la flamme produit un bruit continu, assez intense, analogue à celui d'un ventilateur. Ce phénomène, qui n'a pas lieu avec la vapeur, est dû à une série d'extinctions et d'allumages infiniment rapprochés. On supprime cet inconvénient en employant les gaz provenant de la combustion à la place d'air atmosphérique; cette disposition est facilement applicable et a l'avantage d'éviter le réchauffage, puisque les produits de la combustion sortent de la cheminée à une température élevée; il faudrait même les refroidir pour ne pas abîmer la pompe de compression. Ce refroidissement ne devrait, d'ailleurs, pas être poussé trop loin, car les gaz de combustion contiennent de la vapeur d'eau provenant de la combustion de l'hydrogène, qu'il ne faudrait pas laisser condenser.

Un pulvérisateur, modifié spécialement pour l'usage de l'air comprimé par M. Fontaine (*fig.* 113), a également donné de bons résultats au cours d'essais effectués à bord du garde-côte *Furieux*.

Dans le pulvérisateur Fontaine, le jet d'air est enveloppé par des anneaux liquides de pétrole se maintenant par capillarité dans les espaces interlamellaires; de plus, les deux fluides arrivant avec vitesse dans des directions perpendiculaires l'une à l'autre se mélangent très intimement.

Appareils divers. — On a essayé d'employer sur les navires la pulvérisation mécanique dont le principe consiste à comprimer le pétrole qui s'échappe ensuite par des tubulures. En général, la pul-

vérisation est moins bonne qu'avec les pulvérisateurs à vapeur ; il y a un peu de fumée en marche normale et beaucoup à l'allure forcée. Le grand avantage des pulvérisateurs mécaniques est de supprimer le ronflement des injecteurs à vapeur et la dépense d'eau. Aussi paraissent-ils devoir se développer pour les applications sur les navires. Ils exigent une filtration soignée du pétrole, que l'on doit chauffer à 100° au moins, pour faciliter la pulvérisation, alors qu'un réchauffage à 30° ou 40° suffit pour la pulvérisation par la vapeur.

M. Howden, de Glasgow, construit un foyer muni de deux brûleurs de son système.

Le pétrole est amené sous pression aux brûleurs. Les brûleurs sont réglés par des tiges à pulvérisateur hélicoïdal. L'air chauffé envoyé sous pression dans la chambre d'avant du foyer sort par un tube spécial et se mêle au pétrole. Une partie de cet air passe par des tiroirs dans une chambre d'où il se rend au foyer en passant par une série de petits orifices. Enfin on admet de l'air dans le cendrier par des vannes spéciales. Quand on marche au pétrole, on recouvre les grilles de plaques de fonte qu'il n'y a qu'à enlever, quand on veut marcher au charbon, en fermant les orifices qui servent à fixer les brûleurs sur le foyer.

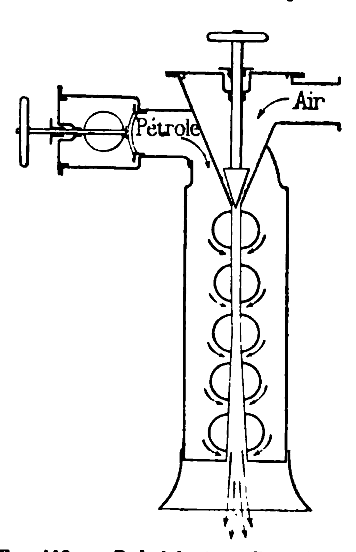


Fig. 113. — Pulvérisateur Fontaine.

On trouve en général aujourd'hui que le rendement des pulvérisateurs à air est inférieur à celui des pulvérisateurs à vapeur, bien que la pulvérisation soit moins bonne et la combustion moins active avec les premiers.

On a même cherché à supprimer l'air et la vapeur comme agents de pulvérisation. M. Meyer, ingénieur hollandais, a imaginé un brûleur assez employé sur les navires faisant le service des Indes. L'air amené le long de canaux hélicoïdaux, au sortir d'un réchauffeur, est chauffé par le jet même de pétrole, ce qui, d'après l'inventeur, permettrait de marcher sans air comprimé ni vapeur.

Appareil Kermode. — Dans le système Kermode, l'huile est

vaporisée par un mélange d'air chaud sous pression. La quantité d'air fournie n'est pas aussi grande que celle qui serait nécessaire pour l'évaporation complète du pétrole car la vapeur en combustion établit un courant d'air suffisant.

Pour appliquer l'appareil Kermode à une chaudière marine, une soufflerie fournit l'air au moyen d'une conduite de 100 millimètres de diamètre, sur laquelle sont branchés deux tuyaux de 65 millimètres communiquant avec chacun des foyers. Cette conduite traverse la partie antérieure du foyer, en longe un côté, passe devant l'autel et revient le long de l'autre côté du foyer. Elle se termine par une extrémité conique. Le pétrole est fourni par un réservoir surélevé, et coule dans un tuyau de 30 millimètres, qui se divise à l'avant du foyer en deux branches, une pour chaque foyer. Chacune de ces branches est reliée au vaporisateur par un bouchon et un cône.

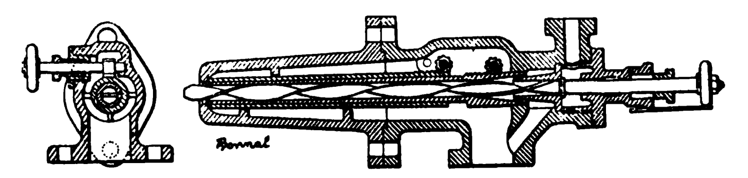


Fig. 114. — Appareil Kermode.

La figure 114 représente la tuyère de pulvérisation. Le pétrole pénètre dans la branche supérieure droite; son écoulement est réglé par une soupape conique. L'air chauffé par son passage autour du foyer, pénètre dans la branche inférieure, et rencontre le pétrole au moment où il franchit la soupape. Le pétrole, étant rapidement vaporisé à son passage, se mélange avec l'air et, d'ailleurs, une hélice placée dans le tube central opère un mélange complet de pétrole ; ainsi aucune particule ne peut traverser le tube sans être complètement vaporisée. L'alimentation d'air peut être réglée en deux points au moyen de manettes avec pignons et crémaillères. L'un des pignons commande le tube intérieur au-dessus de la tuyère de distribution de pétrole, et règle l'arrivée d'air. Le second pignon, placé à gauche, commande le tube extérieur et permet de faire varier la quantité d'air qui s'échappe autour du jet mélangé à l'extrémité de l'aiguille.

Le fonctionnement de l'appareil est le suivant : au sortir de la tuyère placée au-dessus de la soupape, le pétrole est chassé en avant par un violent courant d'air chaud qui enveloppe la tuyère. Ce

courant peut être réglé avec une grande exactitude. Une nouvelle quantité d'air comprimé est introduite au moment où commence la combustion, et une troisième alimentation d'air a lieu par l'aspiration de la flamme ou par le tirage. Cette dernière quantité d'air traverse la partie antérieure du foyer vide, passe entre les plaques intérieure et extérieure et s'échappe par l'ouverture conique autour du brûleur. La grille est composée de blocs en argile réfractaire.

Les figures 115 et 116 représentent les dispositifs adoptés pour une

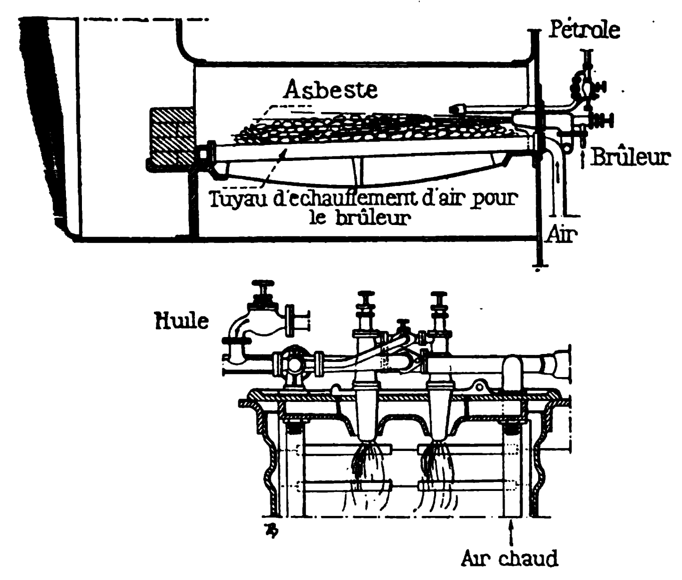


Fig. 115 et 116. — Application d'un appareil Kermode à un foyer.

série d'expériences de l'appareil; les barreaux de grille en fonte, et non en briques réfractaires, sont recouverts de tampons d'asbeste. Le dispositif du brûleur est semblable, en principe, à celui qui est représenté par la figure 114, à part cette différence que le pétrole passe d'abord au travers du tube vaporisateur situé à l'intérieur du foyer. Ce dispositif n'est cependant pas essentiel. En tout cas, les brûleurs sont montés à charnières sur le robinets à air et à pétrole qui sont fixés sur la chaudière, et, si l'on veut examiner la partie antérieure des brûleurs, on peut les retirer du foyer; leur retrait interceptant l'alimentation d'air et de pétrole, on évite ainsi les accidents que pourraient causer les négligences des agents.

Chauffage au pétrole lampant. — M. Ferrari, de Gênes, a installé, en 1892, ce mode de chauffage à bord du vapeur italien *Amelia*, où l'on brûlait du kérosène ou pétrole lampant, de densité égale à 0,840, provenant des mines de Bakou.

Le foyer de la chaudière était constitué par un certain nombre de bassins en tôle, légèrement inclinés et au fond desquels (*fig.* 117) un tuyau crépiné à sa partie supérieure amenait le pétrole sous pression ; à quelque distance de la partie supérieure de ce tuyau, qui suivait toute la longueur de chaque rigole, était fixé un écran en treillis de fil de fer, limitant les flammes à leur base; des trous, pratiqués dans les flancs inclinés des bassins, livraient passage à l'air nécessaire à la combustion.

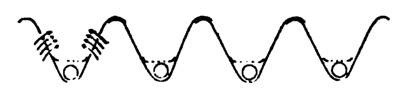


Fig. 117. — Appareil Ferrari.

La volatilisation du pétrole lampant a été réalisée par une Compagnie anglaise dans des conditions particulièrement intéressantes et appliquée au chauffage d'une chaudière multitubulaire.

On emploie de l'huile de pétrole peu raffinée, presque brute, aspirée par une petite pompe à air et envoyée sous pression dans un vaporisateur très simple, où elle se convertit en gaz sous l'influence de la chaleur; c'est un plateau circulaire sillonné de tubes creux à l'intérieur desquels passe le pétrole.

L'huile gazéifiée se rend ensuite, par une soupape automatique, dans une sorte de giffard, nommé brûleur, où le courant d'air aspiré par le jet de gaz étend la flamme et lui donne une grande intensité. Ce brûleur est placé juste au-dessous du centre du vaporisateur, car c'est la flamme qui s'en échappe qui vient vaporiser l'huile circulant dans les tubes en alambic de son plateau.

Pour l'allumage, il est nécessaire de commencer par échauffer artificiellement le vaporisateur, afin de pouvoir gazéifier la première huile introduite. On se sert pour cela d'un plateau rond à godet, dit allumeur, rempli de laine d'amiante imbibée à saturation d'alcool méthylique et que l'on place au-dessus du brûleur conique.

La chaudière (*fig.* 118) se compose de deux collecteurs, l'un supérieur, l'autre inférieur, reliés par une double série de tubes en S, en cuivre rouge, sans soudure. Ces tubes sont fixés aux collecteurs par des raccords en métal Delta, qui appliquent leurs bouts, légèrement emboutis, sur les sièges coniques, sans l'interposition d'aucune garniture.

Le vaporisateur et le brûleur sont situés au milieu des tubes, immédiatement au-dessus du collecteur inférieur.

Dans une classe de brûleurs encore peu répandus, mais qui sont appelés à se développer beaucoup, les pétroles sont rendus inflammables au moyen d'une gazéification préalable et sont brûlés à l'état de gaz à la sortie de l'appareil. Ces appareils suppriment les inconvénients des brûleurs à pulvérisation par l'air ou par la vapeur, mais ils ne conviennent, pour le moment du moins, qu'à des chaudières de faible puissance (10 à 20 chevaux) parce qu'il est difficile de leur faire débiter assez de combustible pour réaliser une combustion très intense dans un grand foyer.

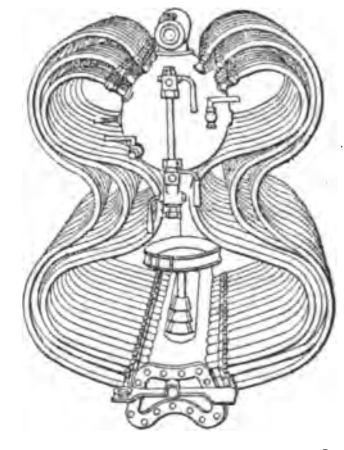


FIG. 118. — Chaudière au pétrole lampant.

Parmi les appareils de ce type nous citerons le brûleur Rosier. Ce brûleur comporte un tube cylindrique en acier, embouti à l'une de

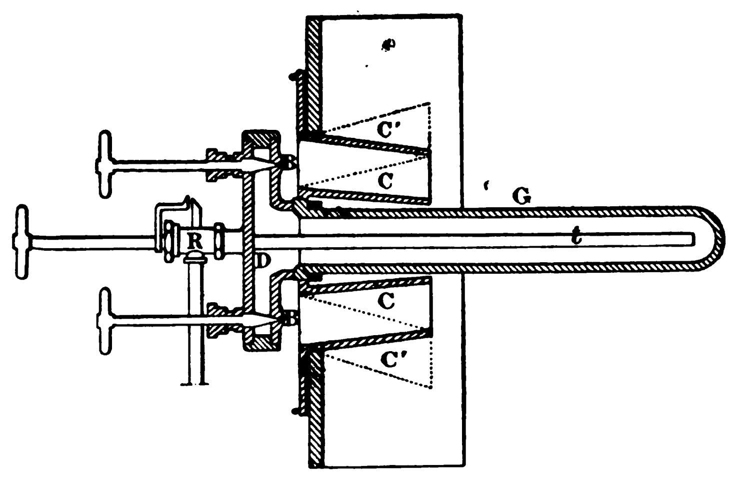


FIG. 119. — Brûleur Rosier.

ses extrémités, dans lequel l'hydrocarbure est amené par un tube intérieur *t*. C'est le gazéificateur G. L'arrivée de pétrole se règle par

le robinet R. Les gaz produits en G sortent sous pression par un distributeur D et par les becs à pointeaux B, B.

Des cheminées rotatives C, C appellent l'air nécessaire à la combustion des gaz, dirigent les flammes soit sur le gazéificateur, soit dans la position symétrique C'C', quand la chaleur rayonnante du foyer suffit pour chauffer le gazéificateur.

Pour envoyer le pétrole dans l'appareil, on utilise une surélévation du réservoir ou la pression d'une pompe à air. Pour allumer, on s'assure que le robinet d'alimentation R est fermé.

Résultats généraux d'essais. — En résumé, les divers essais de chauffage au pétrole, soit sur chaudières fixes, soit sur chaudières de locomotives, soit enfin sur chaudières marines, peuvent se résumer comme il suit :

Une application du chauffage au pétrole a été faite sur le vapeur-citerne *Lion*, qui alimente de pétrole d'Amérique les raffineries d'Espagne. Les chaudières sont du type tubulaire à retour de flamme ; les foyers sont du système Fox. Dans une traversée moyenne de Cherbourg à Philadelphie (3.206 milles en quatorze jours huit heures), ce steamer a consommé 255 tonnes de résidus de pétrole, alors qu'il brûlait auparavant 400 tonnes de houille dans une traversée normale de seize à dix-sept jours.

Une application faite du chauffage par brûleur au pétrole sur le *Cambodge* de la Compagnie de l'Est asiatique a donné également d'excellents résultats.

A l'arsenal de Woolwich, des essais faits sur des chaudières fixes ont donné une vaporisation ramenée à 100° de 13^{kg},200.

De même, à l'arsenal de Brooklyn, on a constaté une vaporisation ramenée à 100° de 13^{kg},900, supérieure de 52 0/0 à celle qu'aurait produite l'anthracite.

Sur le chemin de fer de Griazi-Tzaritzin, un appareil Urqhardt, à jet central de vapeur, a vaporisé, à 100°, 14^{kg},33.

Aux ateliers Fraissinet, à Marseille, en 1884-1885, un appareil d'Allest, à lame de vapeur extérieure, a vaporisé, en moyenne, à 100°, 15^{kg},29.

Enfin, la Compagnie marseillaise de navigation à vapeur, avec des appareils d'Allest, employés sur le navire *Aude*, a vaporisé, à 100°, 14^{kg},10.

On peut déduire de ces résultats que la production moyenne de

vapeur, ramenée à 100°, oscille entre 13^{kg},500 et 14 kilogrammes, sans dépasser sensiblément ce chiffre maximum.

Si l'on compare cette vaporisation à celle que donnerait le charbon dans les mêmes conditions, soit 9 à 10 kilogrammes à 100°, on voit que les résultats obtenus sont déjà fort satisfaisants.

Parmi les applications récentes du chauffage des navires au combustible liquide, nous signalerons encore l'emploi des brûleurs Koerting sur les steamers de l'État roumain faisant le service entre Constanza et Constantinople. Le North German Lloyd emploie le combustible liquide sur ceux de ses navires qui naviguent entre Bangkok et Singapore et entre les détroits de l'Australie. La Shell Line a 18 navires-réservoirs chauffés au pétrole, et on peut dire que, dans un prochain avenir, le combustible liquide sera d'un usage général en Extrême-Orient. Car un grand nombre de Compagnies font des essais dans ce but, notamment la Rotterdamsche Lloyd, la California and Oriental Steamship C°, la Hamburg American Line, la Anglo Austrian Steam Navigation C°, la Allan Line, la Nippon Yusen Kaisha et la Royal Dutch Packet C°.

Des essais comparatifs sur le chauffage au pétrole et à la houille ont été faits sur le vapeur allemand *Tanglin*.

Le chauffage à la houille se faisait entre l'Europe et Singapore, le chauffage au pétrole entre Singapore et Sydney.

Les résultats obtenus ont été les suivants :

	AU CHARBON	AU PÉTROLE
Vitesse moyenne............	10 nœuds et demi	11 nœuds et demi
Dépense journalière.........	20 tonnes à 32 fr. = 640 fr.	13 tonnes à 37 fr. 50 = 487 fr. 50
Personnel chauffeur par quart	6 hommes	2 hommes
Température des chaufferies .	40 degrés	32 degrés

Enfin le département de la Marine de Washington a fait procéder à des essais de combustibles liquides très complets, par une commission spéciale présidée par l'amiral Melville. La commission a eu à déterminer le meilleur mode d'emploi du combustible liquide dans la marine : avantages relatifs de l'air et de la vapeur comme agents d'atomisation; différentes pressions qu'il faut exercer sur l'huile, la vapeur et l'air à leur passage dans les bouilleurs; valeur relative des principaux types de bouilleurs, etc.

TROISIÈME PARTIE

LIGNITE, TOURBE, BOIS, CHARBON DE BOIS

CHAPITRE XII

LIGNITE

Caractères physiques. — Propriétés chimiques. — Teneur en eau. — Teneur en cendres. — Variétés de lignites. — Lignite bitumineux. — Lignite noir. — Lignite brun. — Lignite xyloïde. — Étude au microscope des diverses sortes de lignites. — Catégories industrielles des lignites. — France. — Italie. — Allemagne. — Autriche-Hongrie. — Analyse des lignites. — Emploi des lignites. — Agglomération. — Carbonisation.

Caractères physiques. — Le lignite (du mot latin *lignis*, bois) est un combustible intermédiaire entre la houille et la tourbe formé de couches d'une matière jaunâtre, brune ou noirâtre, à cassure conchoïdale, ou d'une substance terreuse mate, d'un brun jaunâtre, dont l'aspect et la texture diffèrent suivant l'époque de la formation.

La cassure à sec est de couleur mate terne. Parfois elle aura un éclat vif et résineux.

La densité du lignite varie de 0,5 à 1,25. Le lignite piciforme ou *jayet* a un poids spécifique de 1,10 à 1,50.

Le lignite ne fond pas et ses fragments ne s'agglutinent pas, comme cela a lieu pour les houilles grasses. Il donne, en brûlant, une flamme longue avec de la fumée, et il dégage une odeur piquante qui rappelle celle du caoutchouc brûlé.

Ce combustible brûle un peu comme la braise, la flamme apparais-

sant avant que le lignite ne soit complètement rouge, ce qui est dû à un dégagement de gaz à une faible température. Quand la flamme est éteinte, le lignite, recouvert d'une cendre blanchâtre, continue à brûler, ce qui n'a pas lieu avec la houille.

La cendre est pulvérulente, comme celle du bois, mais plus abondante, plus ferrugineuse, plus terreuse et, en général, plutôt rougeâtre que grisâtre.

Le lignite se fendille rapidement à l'air, quand il a été exposé à la chaleur solaire, et il s'altère à l'air humide en perdant une partie de ses propriétés. Ce sont surtout les lignites fortement oxydés qui éprouvent, pendant la dessiccation et l'exposition à l'air, une modification très nette. Beaucoup dégagent des quantités notables d'acide carbonique, d'autres donnent naissance à des carbures volatils d'une odeur désagréable. Dans ce dernier cas, le lignite se résinifie; il prend un éclat de cire ou de résine qu'il ne possédait pas avant, ou même se transforme en lignite bitumineux. Dans cette modification, il perd beaucoup de ses principes combustibles.

Propriétés chimiques. — En distillant le lignite, on obtient des matières volatiles, des huiles lourdes, de l'eau chargée d'acide. Quant au coke obtenu il est inconsistant.

La composition élémentaire moyenne des lignites est la suivante :

Carbone	57 à 80 0/0
Hydrogène	4 à 8
Oxygène et azote	12 à 37
Soufre	1,5 à 7

Le lignite contient jusqu'à 55 0/0 d'eau ; cette quantité d'eau est spécifique ; sa teneur en cendres varie de 2 à 20 0/0. Le lignite est toujours, comme on le voit, un combustible très oxygéné.

En présence surtout de la difficulté, que nous avons signalée aussi pour la houille, de prélever des échantillons moyens vrais, on ne saurait s'attendre à ce que l'analyse fournisse réellement la composition chimique exacte des lignites; les analyses ne peuvent être considérées que comme des approximations.

Quoi qu'il en soit, nous reproduirons dans le tableau ci-contre la moyenne des analyses faites sur des lignites de diverses provenances.

ORIGINE DES LIGNITES	NOMBRE DES ANALYSES	COMPOSITION ÉLÉMENTAIRE				COMPOSITION DÉDUCTION FAITE DES CENDRES		
		CARBONE	HYDROGÈNE	OXYGÈNE ET AZOTE	CENDRES	CARBONE	HYDROGÈNE	OXYGÈNE ET AZOTE
Allemagne. Duché de Brunswick	1	66,24	5,32	20,78	7,64	71,72	5,76	22,50
Allemagne. Royaume de Saxe	14	58,29	5,33	24,78	11,59	65,93	6,03	28,03
Allemagne. Saxe prussienne	18	55,76	5,32	24,68	14,23	65,01	6,20	28,77
Allemagne. Cologne	1	63,29	4,98	26,24	5,49	66,97	5,27	27,76
Allemagne. Hesse-Cassel. L. anthraciteux	3	75,49	4,12	13,11	7,27	81,41	4,44	14,14
Allemagne. Hesse-Cassel. L. ordinaire	9	63,78	5,12	27,67	3,42	66,04	5,30	28,65
Allemagne. Id.	4	64,22	5,56	24,87	5,35	67,85	5,87	26,27
Allemagne. Nassau-Westerwald	49	60,19	4,93	25,59	9,28	66,35	5,43	28,21
Allemagne. Hesse-Darmstadt	1	57,28	6,03	36,10	0,59	57,63	6,06	36,31
Allemagne. Bavière (Regensburg)	5	62,16	5,29	28,53	4,01	64,75	5,51	29,72
Autriche	4	57,68	4,22	24,50	13,59	66,90	4,88	28,35
Hongrie	10	66,24	4,00	23,19	5,99	70,46	4,91	24,67
France. Lignite de Dax	1	69,52	5,59	19,90	4,99	73,18	5,88	21,14
France. Lignite des Bouches-du-Rhône	1	63,01	4,58	18,98	13,43	72,78	5,29	21,93
France. Lignite des Basses-Alpes	1	69,05	5,20	22,74	3,01	71,20	5,36	23,44
Grèce	1	61,20	5,00	24,78	9,02	67,27	5,49	27,24
Moyennes et Totaux	126	60,96	5,04	24,87	9,12	67,08	5,55	27,37

Dans beaucoup de lignites, on trouve, comme élément constitutif, du soufre non combiné avec l'oxygène. La proportion de soufre peut s'élever, comme dans le lignite de Semsal (canton de Fribourg), à 4 0/0 du poids du lignite sec; mais, en général, cette proportion est beaucoup plus faible.

Teneur en eau. — Les lignites, au moment de leur extraction, renferment une quantité d'eau très notable. On a trouvé jusqu'à 38 et 43 0/0. En opérant sur 35 échantillons différents, l'analyse a donné, comme maximum, 59,93, comme minimum 27,5 et comme valeur moyenne 40 0/0 d'eau. Lorsqu'on les a desséchés complètement, les lignites reprennent, au bout de quelque temps, entre 8 et 16 0/0 d'humidité, ou, en moyenne, 14 0/0.

Teneur en cendres. — Les cendres sont, dans la plupart des lignites, en proportion plus considérable que dans les houilles. Pour les lignites de Bohême, on trouve des teneurs en cendres comprises entre 1,5 et 7 0/0. Dans les lignites du Rhin, la teneur s'élève jusqu'à 58 0/0. Naturellement, les lignites, qui renferment plus de la moitié de leur poids d'impuretés, ne sauraient avoir aucune valeur comme combustibles.

Les cendres sont composées principalement de silice, d'oxyde de fer, d'alumine, de chaux et d'acide sulfurique. On y trouve également, mais en moindres quantités, de la magnésie, de la potasse, de la soude et du chlore.

Par suite même du mode de formation des lignites, il est clair que leur teneur en cendres doit être répartie d'une façon très inégale. Les analyses suivantes le démontrent amplement.

ORIGINE DES LIGNITES (FOSSES)	TENEUR EN CENDRES		
	LIGNITE CLAIR	PSEUDO-LIGNITE	LIGNITE AGGLOMÉRÉ
Alexandria	1,87	»	14,76
Nassau (couche supérieure)	5,82	»	14,02
id. id.	3,68	10,94	»
Segen Gottes (couche inférieure)	1,41	»	12,77
id. id.	2,60	9,47	»
Gute Hoffnung (couche supérieure)	1,92	»	3,14
Victoria (couche supérieure)	1,54	10,00	»
Oranien (couche inférieure)	1,93	7,48	»

On voit que non seulement la teneur en cendres est très variable pour une même couche, mais encore que cette inégalité est fonction de la nature même du combustible. D'une manière générale, la proportion des cendres est d'autant plus élevée que le lignite s'éloigne plus du bois.

L'analyse de certains lignites, à Westerwald et à Sanfort, près de Regensburg, a démontré que la constitution des cendres est en relation étroite avec la nature des principes combustibles. On trouve effectivement que la teneur proportionnelle en carbone de la matière organique diminue à mesure que la teneur en cendres augmente et réciproquement, de telle sorte que les cendres et le carbone donnent toujours sensiblement le même total. Naturellement, l'inverse s'observe pour l'oxygène.

Ainsi, en analysant les lignites d'une même fosse et de la même couche, on trouve, pour 1,2 0/0 de cendres, 70,2 de carbone et 22,2 d'oxygène, tandis qu'un autre échantillon donnant 12,7 de cendres, ne renferme plus que 56,7 de carbone et 26,5 d'oxygène. En d'autres termes, la substance organique est beaucoup plus oxydée dans les lignites riches en cendres que dans ceux qui contiennent moins de sels minéraux.

Variétés de lignites. — On distingue plusieurs variétés de lignites, à savoir le lignite bitumineux, le lignite noir, le lignite brun et le lignite xyloïde.

Lignite bitumineux. — Les lignites gras ou bitumineux, pauvres en oxygène, mais riches en hydrogène et en carbone, se ramollissent et se gonflent par la combustion, tandis que les autres lignites se fendillent ou se réduisent en poussière, ce qui nécessite des grilles spéciales pour leur utilisation dans les foyers. Leur composition moyenne varie entre les limites suivantes :

Carbone	de 70 à 80 0/0
Hydrogène	de 6 à 8
Oxygène et azote	de 24 à 12

Certains lignites sont même fluides comme de l'huile à température très peu élevée, ce qui les rapproche des bitumes mous ou liquides que l'on rencontre dans le Bas-Rhin, l'Aisne ou les Landes.

Lignite noir (*Schwarzkohle*). — Les lignites anciens (terrain secondaire et base du tertiaire) ont un aspect noirâtre et une texture com-

pacte. On les désigne sous le nom de *Schwarzkohle* ou de lignite sec : ils développent 5.500 à 6.000 calories, et ils se rapprochent beaucoup de la houille sèche à longue flamme.

L'éocène et la base de l'oligocène fournissent en général des lignites moins complètement formés (*glanzkohle* ou *pechkohle*) donnant de 4.500 à 5.500 calories. Ils ont un aspect brun noirâtre et une cassure brillante et conchoïdale.

Lignite brun (*Braunkohle*). — Les lignites les plus répandus dans la nature sont les lignites bruns ou *Braunkohle* (oligocène et miocène), donnant de 2.500 à 4.500 calories. Ces lignites contiennent une grande quantité de feuilles de graminées, de mousses, d'aiguilles de conifères, de grains de pollen, de diatomées, de débris d'insectes et de spicules d'éponges.

Le braunkohle a un aspect brun rougeâtre et une cassure terne, en général conchoïdale, mais quelquefois irrégulière. Ce lignite est du bois passé à l'état fossile par une décomposition dont le caractère principal consiste dans la perte d'une proportion plus ou moins grande des éléments volatils.

On rattache également à cette catégorie les lignites terreux, qui ont un aspect pulvérulent et terne ; on les agglomère avec ou sans brai après dessiccation.

Lignite xyloïde fibreux ou ligneux. — Les lignites pliocènes ont une texture fibreuse très nette plus ou moins serrée, et on aperçoit même quelquefois les végétaux qui les constituent avec assez de facilité pour pouvoir en déterminer la nature. Les lignites xyloïdes ou bois fossiles crépitent au feu comme le bois, dont ils possèdent la dureté; leur couleur est brun jaunâtre ou même parfois noirâtre; leur densité varie entre 0,5 et 1. On peut les fendre et les brûler comme du bois ordinaire.

La composition de la matière brune qui constitue ce bois fossile est la suivante :

Carbone...............	de 57 à 67 0/0	(0,55 Karsten)
Hydrogène	de 6 à 5	(0,043 —)
Oxygène et azote.......	de 37 à 28	(0,255 —)

Plus la décomposition est avancée, plus la matière est riche en carbone.

La proportion d'eau est considérable et voisine de celle du bois. L'eau s'évapore par une simple exposition à l'air ; mais, en séchant,

ce lignite tombe en poudre. Toutefois il perd 1/5 de son poids à la température de l'eau bouillante sans altération.

Abstraction faite de l'eau hygrométrique et des cendres, le pouvoir calorifique est de 5.500 calories environ; mais il s'abaisse à 3.400 calories à cause de l'eau et des cendres. La teneur en cendres varie de 4 à 15 0/0.

Le bois fossile donne autant de gaz que le bois frais; il fournit moins d'eau, pas d'acide pyroligneux, mais plus d'alcool.

Étude au microscope des diverses sortes de lignite. — En étudiant au microscope les lignites de Carinthie, M. Gumbel y a observé (*fig.* 120) une grande quantité de débris organisés, fragments d'épidermes et débris de tissus parenchymateux, avec grains de pollen dans les parties mates et des fleurs ligneuses concentrées dans les lits brillants.

Aux environs de Bonn et de la Rhœn, en Bavière, le lignite se divise en feuillets minces comme du papier, par suite de l'interposition d'une substance argileuse mêlée de quartz en fines particules, dans laquelle se trouve enfermée la paraffine. En traitant le lignite par les réactifs oxydants, on y trouve une petite quantité de débris végétaux à structure cellulaire et quelques grains de pollen avec de nombreuses pellicules brunes à contours irréguliers, sans structure nette, qui semblent être d'origine animale. Il s'agit sans doute d'un dépôt formé dans un bassin d'eau douce, au fond duquel se rendaient des débris de nombreux animaux avec de l'argile et des fragments de plantes.



Fig. 120. — Débris de plantes observés dans les lignites.

A Weissenfels, on trouve un lignite terreux spécial (*pyropissite*), qui ressemble à un charbon à gaz, dont il se distingue cependant par son aspect et par sa nature pulvérulente. Ce lignite est une substance jaune brun, qui se présente en grains irréguliers opaques mêlés de quelques débris de feuilles à peu près conservées quant à la structure et appartenant à la catégorie des mousses.

A Sanfort, on trouve une pyropissite analogue renfermant une quantité assez considérable de feuilles de mousses et de graminées mélangées de gros fragments de bois à structure très nette; toute la masse est transformée en une substance friable de couleur jaune. Les grains de pollen sont en nombre considérable; en traitant ce

liquide par l'acide azotique et le chlorate de potasse, on y découvre une quantité de pellicules perforées, en forme de boules de matière résineuse.

Dans les variétés de lignites terreux, on trouve, comme dans beaucoup de tourbes, des dépôts de diatomées intercalées. Les lignites de Sanfort et de Mitterteich, notamment, sont constitués en majeure partie par des débris de végétaux en particules très divisées : on y voit mêlés à de la boue argileuse des grains de pollen, des spores et, exceptionnellement, des fibres de fusain.

On observe de nombreux fragments de fusain dans les lignites compacts de Falkenau et dans ceux de Traunthal (Haute Autriche); ces débris ont l'aspect irrégulier de ceux qu'on trouve dans la houille; ils colorent peu la potasse; l'acide azotique et le chlorate de potasse les attaquent à peine.

Les lignites ordinaires donnent, dans leur cassure transversale, des bandes de charbon très compact noir brillant alternant avec des couches mates. Ces bandes brillantes montrent au microscope des fragments de bois ou de parties solides de diverses plantes.

Ces couches brillantes sont quelquefois assez développées pour former des barres au milieu des couches de combustible. Elles sont dues à l'abondance des éléments ligneux amenés par flottage ou appartenant à des végétations forestières existant lors de la formation elle-même. A Schwandorf, dans le gîte de Wackersdorf, le dépôt a été silicifié dès l'origine; il présente des morceaux de bois avec rameaux et ramules de glyptostrobus européens alternant avec des couches minces de feuilles de mousses ou de graminées. On retrouve l'alternance de bandes mates et de bandes brillantes, que nous avons signalée.

Catégories industrielles des lignites. — Le tableau suivant donne la composition de quelques lignites.

	NATURE du COMBUSTIBLE	DENSITÉ	COMPOSITION				DÉDUCTION FAITE DES CENDRES				1000 ATOMES DE CARBONE sont unis avec atomes	
			CARBONE	HYDROGÈNE	OXYGÈNE ET AZOTE	CENDRES	COKE DONNÉ A LA CALCINATION	CARBONE	HYDROGÈNE	OXYGÈNE ET AZOTE	HYDROGÈNE	OXYGÈNE
LIGNITE PARFAIT												
Dax..............	Pulvérulent.	1,272	70,49	5,59	18,93	4,99	49,1	74,19	5,88	20,15	970	207
Bouches-du-Rhône.	id.	1,254	63,88	4,58	18,11	13,43	41,1	73,79	5,29	26,92	878	217
Mont-Meissner....	id.	1,351	71,71	4,85	21,67	1,77	48,5	73,00	4,93	22,07	827	231
Basses-Alpes......	id.	1,276	70,02	5,20	21,77	3,01	49,5	72,19	5,30	22,45	910	238
LIGNITE IMPARFAIT												
Grèce............	Analogue au charbon de bois.	1,185	61,20	5,00	24,78	9,02	38,9	67,28	5,49	28,23	1000	309
Cologne..........		1,100	63,29	4,98	26,24	5,69	36,1	66,96	5,27	27,77	964	318
Usnach...........		1,167	56,04	5,70	36,07	2,19	»	57,29	5,83	36,88	1247	492
Usweiler..........		»	77,10	2,25	19,35	1,00	»	»	»	»	»	»

France. — A Fuveau et à Gardanne (Bouches-du-Rhône), les lignites sont secs, durs, noirs et résistants, à cassure lisse et peu brillante : ils contiennent un peu de soufre et s'altèrent facilement à l'air ; leur flamme est longue et fumeuse.

Les diverses catégories marchandes sont les suivantes : gros ou roches, grelassons, terre grosse, terre fine, poussiers.

Les lignites de Saint-Paulet, de Saint-Julien, de Peyrolas, de Barjac, de Gaujac, dans le département du Gard, sont utilisés dans les fours des usines à terre réfractaire et dans les magnaneries.

On exploite à Manosque (Basses-Alpes) un lignite bitumineux. On rencontre des gisements de lignite xyloïde dans l'Ain, de lignite pyriteux et terreux dans le Soissonnais.

Italie. — Les lignites de l'Italie et de la Sardaigne, dont nous donnons ci-après l'analyse, sont de qualité médiocre ; ils peuvent cependant donner par distillation des huiles, de la paraffine et des bitumes[1].

LIGNITES DE :	CARBONE	MATIÈRES VOLATILES	CENDRES	TOTAUX
La Barasina (Gênes).........	32,55	47,20	20,55	100,30
Cadibona (Gênes)............	46,50	47,40	6,10	100,00
Bagnasco et Nucetto.........	35,40	49,00	15,50	99,90
Monte Nerone................	46,30	46,80	6,90	100,00
Terras de Colla (Cagliari)....	50,50	46,00	3,50	100,00

Des analyses de lignites miocènes de Toscane ont donné les résultats suivants; ces lignites, de bonne qualité, sont utilisés par l'industrie.

	LIGNITE DE CANIPAROLA	LIGNITE DE SARZANELLO	LIGNITE DE FRONTIGNANO
Carbone..................	61,62	63,54	61,56
Hydrogène................	5,87	5,16	5,55
Oxygène..................	26,41	25,75	30,62
Azote....................	2,40	2,40	1,00
Cendres..................	5,70	3,15	1,27
	100,00	100,00	100,00

1. Jervis, *The mineral ressources of Central Italy*, 1867, p. 83.

Allemagne. — Les lignites des environs de Bonn (Province du Rhin) ont donné[1] :

Carbone	69,01
Hydrogène	10,04
Soufre	2,35
Azote	1,70
Oxygène	16,90

Près de Cologne on exploite du lignite brut, et on produit l'énergie électrique que l'on transporte en ville à un prix extrêmement bas. La tonne de lignite coûtant 2 fr. 50 sur le lieu d'exploitation, en admettant que l'effet utile du lignite soit de 33 0/0 par rapport à celui de la houille, on voit qu'on devrait avoir de la houille à 7 fr. 50 la tonne, à Cologne, pour cesser d'avoir avantage à employer le lignite avec transport de force. Il existe même des gisements où la tonne de lignite revient à 1 franc.

D'autres exploitations très importantes se trouvent dans la Hesse, le Brunswick, l'Erzgebirge saxon, le Brandebourg, la Thuringe et les environs de Magdebourg, la Silésie prussienne.

Certains lignites de Bohême ont donné, d'après M. Gintl[2] :

	I LIGNITE DE CHODAU	II LIGNITE de la mine Antonius	III LIGNITE de Haberspirk	IV LIGNITE DE BODEN	V LIGNITE de Münchof	LIGNITE DE REICHENAU VI BRUN	VII NOIR
Carbone	68,1	71,0	75,7	69,2	66,9	82,9	77,8
Hydrogène	5,5	5,2	6,8	6,4	6,5	7,7	8,3
Eau	19,5	35,1	28,5	29,8	18,9	25,6	12,6
Cendres	6,2	3,3	2,9	5,5	7,2	3,8	7,4
	99,3	144,6	113,9	110,9	99,5	100,0	106,1

Les lignites d'Aussig Teplitz Komotau sont les principaux combustibles du nord de la Bohême.

Parmi les principales mines de lignite des Alpes autrichiennes, on peut citer celles de Seegraben, près de Leoben, qui alimentent les usines de Neuberg et de Gratz (usines de la Südbahn) ; ces lignites sont de très bonne qualité et sont très employés dans les gazogènes

1. A.-H. Church, *Jahresbericht der Chemie*, 1876, p. 1273.
2. *Verhandlungen der KK. geologischen Reichanstalt*, juillet 1872.

des fours Siemens. Les mines de Köflach alimentent les usines des environs de Gratz. Les mines de Fohnsdorf alimentent les usines des environs de Leoben. Toutes ces mines appartiennent à L'Alpin Montangesellschaft.

Autriche-Hongrie. — On rencontre de nombreux gîtes de lignite dans les bassins tertiaires des versants méridionaux des Carpathes. Parmi les grandes exploitations, on peut citer celle de Diosgyör, appartenant à l'État hongrois. Les lignites de Diosgyör sont de qualité médiocre, et on ne peut les utiliser que dans les fours Siemens.

A Diosgyör, on consomme 2 tonnes de lignite par tonne d'acier produite, alors qu'à Gratz on n'en consomme que 1.000 kilogrammes.

Les lignites de Petrocseny sont, au contraire, de très bonne qualité.

Voici une analyse de ce combustible faite par M. J. Szilagyi :

Eau	4,18 0/0
Cendres	5,73
Soufre combustible	2,08
Hydrogène	4,37
Oxygène	13,09
Carbone	68,89
Azote	1,06

Le pouvoir calorifique moyen calculé pour les diverses couches est de 6.568 calories.

Couche principale de Deakbanya	6.611	calories
— n° V	6.345	—
Puits de l'Ouest	6.527	—
— d'Aninosza	6.681	—
Couche V de Valeapisculu	6.466	—
— principale de Valeapisculu	6.791	—

Les lignites fournis par les mines du comte Gabriel Zichy, situées dans le Comitat de Veszprem, près de la gare de Varpolata (ligne de Szekesfehervar à Gratz) contiennent :

Eau	20,89 0/0
Cendres	10,03
Soufre	2,08

Leur pouvoir calorifique est de 3.900 calories. Ils ne servent guère que pour les usages locaux : chauffage des foyers domestiques et des

locomobiles. Lorsqu'ils sont exposés à l'air, ils se transforment, au bout de peu de temps, en poussière. On ne peut les employer pour le chauffage des locomotives.

Les lignites de Fünfkirchen sont très riches en carbone. Ils renferment[1] :

Carbone	85,29
Hydrogène	5,06
Oxygène	9,65

Les lignites de Sajo Kaza appartiennent à la classe des lignites légers; mais ils sont très purs et peuvent être employés pour le chauffage des appartements. Le résultat moyen des diverses analyses donne, comme pouvoir calorifique, environ 4.000 calories.

ANALYSE DE GANZ ET C[ie] (1896)

DÉSIGNATION du LIGNITE	COMPOSITION ORIGINALE DU LIGNITE								COMPOSITION DU LIGNITE SEC			
	C	H	HO	Cendres	S	Pouvoir calorifique	Pouvoir évaporatoire	O+Az	C	H	O+Az	Cendres
Csibor....	43,56	5,59	31,42	15,05	3,47	4888	7,8	4,38	63,52	8,15	6,39	21,94
Millenium.	47,29	5,35	30,03	10,65	3,50	5046	8,0	6,68	67,56	7,64	9,59	15,21
Theodora.	52,44	6,50	27,96	9,20	2,88	5895	9,4	3,90	72,80	9,01	5,41	12,78
St-Pierre.. (supérieur)	52,37	6,15	29,00	9,50	1,96	5793	9,2	2,98	73,76	8,66	4,20	13,38
St-Pierre.. (inférieur)	51,32	6,15	30,68	7,25	2,67	5655	9,0	4,60	74,03	8,87	6,64	10,46

ANALYSE DE LA STATION CHIMIQUE ROYALE HONGROISE (1896)

PARTIES COMPOSANTES	MILLENIUM	CSIBOR	THEODORA	SAJO SZENTPETER	
				COUCHE SUPÉRIEURE	COUCHE INFÉRIEURE
Eau	28,16	29,18	26,61	26,62	26,26
Cendres	10,53	0,32	8,12	6,92	6,76
Soufre	2,93	2,96	2,25	1,94	2,23
Calories	4229	3990	4263,6	4358,5	4413

1. Neudwich, *Neues Jahrbuch*, 1867, p. 740.

ANALYSE CHIMIQUE DE M. J. SZILAGYI (1897)

VEINES	COUCHES	EAU	CENDRES	SOUFRE	CALORIES	OBSERVATIONS
Millenium..	I. $0^m,08$	23,70	28,30	3,57	2987	En moyenne 3100 calories.
	II. $0^m,60$	28,62	14,70	3,58	3847	Non compris la couche
	III. $0^m,30$	23,56	19,30	2,72	3723	supérieure de $0^m,20$, la
	IV. $0^m,25$	24,37	39,90	2,43	1981	moyenne est de 3381 ca-
	V. $0^m,20$	22,48	50,65	2,17	1440	lories.
Theodora..	I. $0^m,10$	26,09	18,85	2,83	3464	En moyenne 3110 calories.
	II. $0^m,30$	29,81	13,70	3,45	3803	Non compris la couche
	III. $0^m,25$	28,54	11,75	3,84	4091	supérieure de $0^m,20$, la
	IV. $0^m,35$	28,71	7,05	3,15	4450	moyenne est de 3695 ca-
	V. $0^m,35$	23,76	37,65	2,21	2517	lories.
	VI. $0^m,15$	20,12	50,00	2,49	1907	

La Compagnie de Salgo-Tarjan est le plus grand producteur de lignite de la Hongrie.

Cette Compagnie, fondée en 1866, occupe plusieurs milliers d'ouvriers dans ses principales mines de Salgo-Tarjan, Zagyva Rona, Vecseklö, Kazar Viszlas, Palfalva et Ettes. Les lignites de ce bassin appartiennent au néogène et, malgré cet âge récent, ils sont d'une assez bonne qualité, surtout quand ils proviennent de couches peu puissantes. On exploite, notamment à Salgo Tarjan, une variété de lignite noir à cassure conchoïdale, qui se présente en couches minces de 60 à 80 centimètres d'épaisseur.

La Compagnie charbonnière du nord de la Hongrie exploite une autre partie de ce gisement à Baglyasalja, Karancsalja, Matraszele, Homokterenne, ainsi que le charbonnage de Tokod, dans le bassin de Gran.

Le bassin de Salgo-Tarjan est encore exploité par la Société métallurgique de Rimamurany-Salgo-Tarjan, dans une partie où les couches sont plus puissantes, mais de moindre qualité. Cette Société possède également des exploitations de lignite inférieur à Ozd-Nadasd, dans le Comitat de Borsod.

L'État exploite à Parasznya et Varbo, dans le Comitat de Borsod, du lignite de qualité inférieure pour les usines de Diosgyör.

La Compagnie générale hongroise d'industrie houillère exploite, dans ce même Comitat, à Putnok et Sajo-Szent-Peter, des lignites divers. Cette Compagnie exploite également un gisement récem-

ment mis en valeur dans les monts Vértes et faisant suite au bassin néo-oligocène de Gran.

Le gisement se trouve situé près de Tata, sur la ligne du chemin de fer de Budapest à Bruck et à 75 kilomètres au maximum de Budapest.

La Compagnie charbonnière viennoise exploite le bassin d'Ajka (lignites crétacés).

La Société d'Urikany-Zsillthal est, après celle de Salgo-Tarjan, la plus importante du riche bassin néogène de la Zsill (Transylvanie), où elle exploite une couche très puissante.

La Compagnie charbonnière et briquetière de Pesth a ses principales exploitations dans le bassin de Gran, à Dorogh et Annathal. Ce bassin, important à cause de la bonne qualité de ses lignites éocènes noirs et brillants, est situé à proximité de Budapest et est desservi par des lignes directes de chemin de fer. Le prix de ces lignites est inférieur à celui des lignites de Salgo-Tarjan, surtout en raison des différences de qualité.

La Compagnie de Trifail (Autriche) exploite, dans ce même bassin, à Dorogh, et possède, en outre, une petite mine à Krapina, en Croatie.

Parmi les autres producteurs, citons la firme Mandello et C[ie], qui exploite, depuis 1887, à Sayo (Comitat de Borsod), et la firme Poncraz, qui exploite à Vrdnik.

La Compagnie du Brennberg, la plus ancienne de la Hongrie, exporte en Autriche.

Analyse des lignites. — On analyse les lignites au laboratoire, de la même manière que les houilles (Voir page 25). Nous ne reviendrons pas sur ce sujet.

On fera des essais spéciaux avec des mélanges divers pour déterminer les proportions de brai, de goudron ou de houille grasse, qu'il faut mélanger avec le combustible pour obtenir un coke résistant. On opère ces essais par calcination dans des creusets de grande capacité, en faisant varier les proportions des diverses matières. Il faut, en outre, incinérer, faire l'analyse des cendres et déterminer les pertes éprouvées par calcination. Ces renseignements, tout en ne faisant pas connaître la proportion et la qualité du coke obtenu dans les fours, permettent d'éviter bien des tâtonnements dispendieux lors de la fabrication elle-même.

Nous donnons ci-après quelques analyses immédiates faites sur des variétés impures et mal déterminées.

	LIGNITE TERREUX de Schralpren	LIGNITE FIBREUX de Bovey	LIGNITE PICIFORME de Lobrano
Carbone	20	45	27
Eau et acide pyroligneux	12	30	»
Bitume huileux épais	30	10	»
Hydrogène carboné	59	14,5	»
Acide carbonique	8,5		
Soufre provenant des pyrites	»	»	»
Sulfate de calcium	2,5	»	18
Sable	11,5	»	»
Oxyde de fer	1	»	»
Chaux	2	»	23
Alumine	0,5	»	»

Voici l'analyse de cinq échantillons :

	USWEILER	ALLEMAGNE	CHARENTE	AUVERGNE	DAUPHINÉ
Charbon	0,673	0,429	0,390	0,326	0,436
Cendres	0,009	0,046	0,110	0,100	0,074
Matières volatiles	0,318	0,525	0,500	0,574	0,490

Voici l'analyse de quatre autres échantillons :

	ALLEMAGNE	CHANTILLY	MENAT	BOUXWILLER
Matières combustibles	0,825	0,803	0,650	0,440
Argile et sable	0,175	0,066	0,350	0,580
Pyrite	»	0,131	»	0,030

Emploi des lignites. — Le lignite s'emploiera dans les foyers tel qu'il est extrait de la mine, s'il s'agit du Braunkohle. Pour le Glanzkohle, on peut pratiquer les catégorisations ou les opérations de lavage qui sont courantes pour la houille. Mais ces opérations sont souvent simples et plus sommaires. Nous ne décrirons pas à nouveau les appareils, cribles, lavoirs ou trommels dont il a été question précédemment (Voir chapitres III et IV).

Ainsi préparé, le lignite peut être employé sans aucune difficulté

aussi bien pour les usages domestiques que dans la plupart des industries.

Si l'on emploie le lignite brut, on peut, dans certaines conditions, le brûler sur des grilles ordinaires; mais il faut pour cela qu'il soit en morceaux de $0^m,04$ à $0^m,12$ de diamètre. Dans la majorité des cas, le mode d'exploitation ne permet pas d'avoir beaucoup de gros morceaux; aussi le lignite à l'état naturel doit-il être brûlé sur des grilles à gradins ou dans des foyers gazogènes.

On trouve, dans la *Zeitschrift des Vereines Deutscher Ingenieure*, un type de foyer à lignite, qui s'est répandu depuis quelques années dans les provinces rhénanes. Ce foyer se compose essentiellement d'une grille en forme de coquille qui reçoit le combustible des deux côtés. La voûte du foyer est extradossée suivant deux plans inclinés qui règlent l'arrivée du lignite jeté dans le foyer par la partie supérieure. L'air nécessaire à la combustion entre par les conduites latérales, dont les ouvertures sont réglables au moyen de registres.

Agglomération. — On soumet assez souvent le lignite à l'agglomération. C'est une opération d'autant plus courante que, pour certaines qualités, elle peut se faire directement, sans addition de matière agglomérante. On emploie alors des machines semblables à celles qui sont employées pour faire des briques de construction.

L'agglomération des lignites est une industrie qui diffère des méthodes usuelles de fabrication des briquettes en trois points :

1° Absence d'agglomérant, de brai notamment;

2° Emploi de très fortes pressions (1.200 à 1.500 kilogrammes par centimètre carré);

3° Dessiccation plus ou moins parfaite du combustible avant compression.

La suppression du brai est permise par le fait que les lignites renferment le plus souvent un agglomérant naturel sous forme d'une sorte de bitume dont la teneur, qui varie de 0,2 à 2 0/0 pour le lignite humide, est un peu supérieure pour le lignite desséché.

Cette quantité de 2 0/0 environ est suffisante pour déterminer l'agglomération avec les pressions de moulages indiquées ci-dessus, la pression la plus forte convenant évidemment aux lignites les plus pauvres en bitume.

La dessiccation a pour effet de faire suinter le bitume à la périphérie des grains de lignite, qui de la sorte sont recouverts d'une couche agglutinante particulièrement propre à l'agglomération.

C'est vers 1846 qu'on a commencé à donner au lignite la forme d'une briquette compacte dure résistant parfaitement au transport, ne tenant que 11 à 16 0/0 d'eau et n'absorbant pas facilement l'humidité. Le lignite sous cette forme devient un combustible d'une qualité très supérieure à celle du lignite brut, qui, outre les 15 0/0 d'eau qu'il contient, est accompagné de 40 à 50 0/0 d'eau hygrométrique, ce qui réduit son pouvoir calorifique au point de le rendre sans valeur et de ne pas permettre son emploi là où il doit subir un transport.

L'idée de la compression du lignite sans brai est originaire de la Bavière; mais les premiers essais ne réussirent pas. Vers 1880, on installa à Bruhl sur le Rhin des fabriques de briquettes dont la consommation fut d'abord limitée aux usages domestiques. Jusque vers 1887, il n'existait dans la Province Rhénane, si riche en gisements de lignite, que deux centres de fabrication qui avaient beaucoup de peine à placer leur production.

Dans les douze dernières années, la consommation a tellement augmenté, notamment par l'introduction de ce produit dans l'industrie, qu'il existe aujourd'hui, entre Bonn et Aix-la-Chapelle, sur la rive gauche du Rhin, plus de vingt fabriques produisant par jour environ 1.200 tonnes de briquettes, dont la production est vendue un an d'avance. Ces gisements de lignite de la Province Rhénane ont une importance considérable, et on monte encore actuellement dans cette région de grandes usines de briquettes. Nous citerons, notamment, l'usine de compression située près de Cologne, à Horrem, usine qui peut fabriquer de 100 à 120 tonnes par jour.

Le lignite, au sortir de la mine, passe par des cylindres cannelés; puis il est tamisé et envoyé dans des sécheurs à vapeur; ces sécheurs sont méthodiques et disposés de manière à éviter tout danger d'explosion. Le lignite sort des sécheurs à l'état de poudre, ne tenant plus que 10 0/0 d'eau environ; cette poudre est comprimée dans des presses horizontales donnant 65 coups de piston par minute avec une pression de 100 tonnes. Les briquettes pèsent 335 grammes. Chaque presse exige une force motrice de 50 chevaux. Le travail de compression développe une chaleur assez considérable qui ramollit la poussière en faisant apparaître des matières goudronneuses et de la paraffine qui sert d'agglomérant; pour éviter la détérioration des moules, on les refroidit par un courant d'eau.

L'industrie de la fabrication des briquettes de lignite s'est aussi établie en Toscane, à Castelnuovo, près San-Giovanni-Valdarno. On

y transforme le menu du lignite exploité dans la localité en briquettes utilisables pour le chauffage domestique et pour les besoins industriels.

A Castelnuovo, le combustible est amené dans des wagonnets circulant sur une voie Decauville par une passerelle en fer à l'étage supérieur de l'atelier; il tombe dans une trémie au bas de laquelle est une grille à larges mailles; ce qui traverse la grille passe dans un broyeur à cylindres, puis dans plusieurs tamis en descendant tous les étages de l'édifice, et la partie la plus menue est reprise au rez-de-chaussée par un élévateur qui l'introduit dans une étuve de dessiccation.

Cette étuve est formée par un cylindre en tôle à axe vertical de 5 mètres de diamètre et autant de hauteur, divisé par 27 diaphragmes creux en fonte, dans l'intérieur desquels circule de la vapeur à 3 atmosphères de pression. Chaque diaphragme de même diamètre que le cylindre est percé d'une ouverture circulaire. Des bras disposés autour d'un arbre vertical placé dans l'axe de l'étuve forcent la matière à tomber d'une capacité dans l'autre et à parcourir ainsi toute la hauteur de l'étuve de haut en bas. Un ventilateur aspire la vapeur d'eau provenant de la dessiccation du lignite en poudre.

Celui-ci est ensuite amené dans un compresseur formé d'un piston mû par bielle et manivelle, qui refoule la matière dans une matrice ayant la forme de la briquette. La pression exercée est d'environ 10 tonnes par centimètre carré. Cette énorme pression amène une cohésion suffisante pour agglomérer les particules de lignite sans intervention d'aucun ciment ou matière agglutinante.

La fabrique de Castelnuovo fait deux espèces de briquettes : la première, dite domestique, a $160 \times 65 \times 30$ millimètres et pèse $0^{kg},333$; la seconde, dite type industriel, a $60 \times 60 \times 30$ millimètres et pèse $0^{kg},140$.

Le matériel de la fabrique se compose de deux chaudières de Cornouailles de $1^{m},80$ de diamètre et $7^{m},50$ de longueur, timbrées à 10 kilogrammes avec des grilles à gradins à alimentation continue et automatique pour brûler des déchets de lignite. Une machine à vapeur de 90 chevaux actionne les broyeurs, les élévateurs, ainsi que divers appareils accessoires; une seconde, de 40 chevaux, commande le compresseur à briquettes; enfin une dernière actionne une dynamo pour l'éclairage électrique de l'établissement.

Ces moteurs fonctionnent tous sans condensation; la vapeur

d'échappement sert au chauffage des étuves de dessiccation, et une partie est employée dans un injecteur pour l'alimentation des chaudières.

Le lignite à l'état naturel et sec a un poids spécifique de 1,15. Les briquettes ont une densité de 1,30; elles peuvent contenir au plus 3 0/0 d'humidité. Leur composition chimique est la suivante :

Carbone	63 0/0
Hydrogène	5 —
Oxygène	27 —

La quantité de cendres ne dépasse pas 10 0/0. Pour 1 kilogramme de briquettes, il faudra ainsi 8^{kg},59 d'air, en tenant compte des 10 0/0 de cendres.

Des expériences répétées ont donné un pouvoir calorifique moyen de 5.200 calories par kilogramme.

L'installation actuelle de Castelnuovo permet de fabriquer 40 tonnes par jour, tant d'un type que de l'autre. Le prix est de 25 lires par tonne pour le type domestique et de 20 lires pour le type industriel livré en gare de San-Giovanni-Valdarno. Ces prix permettent aux briquettes de lignite de lutter avec avantage pour la consommation intérieure, jusqu'à une certaine distance, avec les combustibles étrangers, qui étaient les seuls dont pût s'alimenter l'industrie du pays.

Il ne faut pas se dissimuler d'ailleurs que ces briquettes ont contre elles un inconvénient sérieux au point de vue du transport. C'est le poids relatif élevé de l'unité de puissance calorifique.

Un autre procédé d'agglomération a été appliqué à certaines espèces de lignite. Le meilleur lignite pour cet usage est le lignite commun ou terreux qu'on trouve en Saxe et dans le bassin du Rhin. Le combustible doit être partiellement séché ; quand il arrive de la mine, il contient 40 à 60 0/0 d'humidité ; c'est pourquoi l'excès d'humidité doit être évaporé. La presse employée pour cette fabrication est de la classe appelée presse à moules ouverts, et elle est généralement connue sous le nom de presse d'Exter.

Le lignite séché pénètre dans la presse par une trémie et descend par son propre poids dans un moule qui est formé de quatre pièces en acier trempé. Le moule est maintenu en place par une vis

pour donner la tension convenable à la plaque de retenue au moyen d'une roue à bras, d'une vis et d'une roue hélicoïde. Le piston est actionné par une machine à vapeur; quand il se retire, la quantité convenable de combustible menu entre dans le moule, et, dans sa course avant, le piston presse contre la briquette laissée dans le moule par sa course avant précédente. Le piston a une course de 20 centimètres, dont 8 environ ne sont pas utilisés pour la compression. Ces presses font de 65 à 80 courses par minute, chaque course produisant une briquette à une pression d'environ 320 à 350 kilogrammes par centimètre carré.

Carbonisation. — Des essais en petit opérés sur des lignites, en les carbonisant dans des creusets fermés jusqu'à ce qu'il ne se développe plus de gaz, ont donné, comme rendement en charbon, des chiffres variant de 30 à 70 0/0, en moyenne 43 0/0.

Les lignites sont, de tous les combustibles, les moins propres à la carbonisation, bien que, par eux-mêmes, ils se décomposent aussi facilement que le bois, et que leur charbon soit combustible. Les variétés, même les plus pures, sont difficiles à carboniser, attendu que, par la chaleur, les éléments fossiles se séparent, et qu'un morceau de lignite compact ne donne plus que de très petits morceaux, ou se boursoufle au point de se déliter complètement dans le transport.

Dans des expériences faites sur les lignites des environs de Darmstadt, on obtint, en poids, 15 1/2 0/0, et, en volume, 32 0/0, en opérant par le système des meules (Voir page 346). Ce rendement est trop faible pour que le travail soit rémunérateur. A Cassel, où les conditions sont meilleures, on pratique la carbonisation en meules, mais sur une très petite échelle.

Les lignites ne perdent leur soufre que très imparfaitement par la carbonisation. C'est ce qui résulte des essais de Schroetter, qui a trouvé dans le coke des teneurs en soufre de 1,58 à 3,23 0/0.

Suivant la théorie de Vauquelin, la combustion des lignites fournit de l'acide pyroacéteux. Mac Culloch a fait des expériences comparatives sur les propriétés des produits de la distillation du bois, de la tourbe et des lignites désignés sous le nom de *jayet*, *bovey coal* ou *sulfur brand*. Ces divers produits renferment de l'acide pyroacéteux, tandis que les produits de la distillation des bitumes et de la houille renferment de l'ammoniaque.

On a fait, en Hongrie, pour la carbonisation des lignites, des essais non encore décisifs, notamment à Witkowitz, à Ostrau et à Recicza.

On a carbonisé, en 1895, à Witkowitz, à Gleiwitz, Dortmund et Alais, des charbons menus de Lupeny, dont l'analyse a donné :

	Matières volat.	Ammoniaque	Goudron	Cendres
A Witkowitz...	33,2 0/0	0,35 0/0	12,0 0/0	17 0/0
A Dortmund...	36,9	—	—	—
A Gleiwitz.....	41,7	0,255	5,4	—
A Alais	40,0	0,2 à 0,48	10,0	—

La teneur en cendres a été réduite, à Witkowitz, à 8,2 0/0.

Le rendement en coke a été le suivant par rapport au charbon sec :

	WITKOWITZ		DORTMUND	GLEIWITZ		ALAIS
	Four Gobiet Solvay Broyé	Four Otto Hofmann Non broyé		Non broyé	Broyé	
Coke gros.......... ...	58,20	55,77	62,48	50,00	61,11	55,97
— en noix..........	4,82	4,80		15,40	5,97	1,21
— menu en poussière	3,02	4,92	3,42	5,80	4,99	5,08
Rendem[t] total en coke..	66,04	65,49	65,90	71,20	72,07	62,26

La teneur du coke en cendres était, à Witkowitz, de 12,7 0/0 ; à Dortmund, de 13 ; et à Alais, de 13,3.

Certains lignites donnent pourtant un coke de bonne qualité. On produit, dans certaines usines, du coke en carbonisant des mélanges intimes de houilles anthraciteuses avec du brai, du goudron et des lignites.

Si la carbonisation se fait dans un four, il faudra plutôt choisir comme modèle de four les appareils à compression que nous décrirons spécialement pour la houille (Voir page 498). On ne soumettra d'ailleurs à la combustion que des qualités de lignite assez voisines des houilles, c'est-à-dire les Pechkohle et les Glanzkohle.

CHAPITRE XIII

TOURBE

Caractères physiques. — Propriétés chimiques. — Eau hygrométrique. — Matières volatiles. — Teneur en cendres. — Analyse des tourbes. — Carbone fixe. — Cendres. — Pouvoir calorifique. — Exemples d'analyses. — Étude au microscope. — Préparation mécanique. — *Briquettes de tourbe.* — Méthodes primitives de préparation. — Nouvelles méthodes de préparation. — Dessiccation. — Emploi de la tourbe. — *Carbonisation de la tourbe.* — Carbonisation en meules. — Four d'Oberndorf. — Carbonisation en Angleterre. — Installation de Staltach. — Essais divers de carbonisation. — *Dopplérite.*

Caractères physiques. — La tourbe est une substance noirâtre, terne ou spongieuse, combustible quand elle est séchée, répandant lors de sa combustion une odeur complexe, désagréable, et tout à fait caractéristique.

Le poids spécifique des tourbes varie beaucoup selon leur degré de dessiccation, suivant la nature des végétaux générateurs et la partie de la couche d'où provient l'échantillon examiné. Les variétés les plus fréquentes pèsent de 160 à 170 kilogrammes le mètre cube, tandis que certaines qualités très compactes pèsent 200 kilogrammes.

Le poids spécifique des tourbes du Fichtelgebirge, en Bavière, varie de 285 à 350 kilogrammes le mètre cube plein. La même tourbe moulée, pèse de 300 à 350 kilogrammes. La tourbe des marais de Montoir, près Saint-Nazaire (Loire-Inférieure), pèse 220 à 280 kilogrammes; celle des marais de Fos, près de Marseille, de 270 à 300 kilogrammes, celle des marais du Scheland, de 125 à 285 kilogrammes.

Propriétés chimiques. — Nous donnerons, d'une manière générale, les limites extrêmes entre lesquelles sont comprises ordinairement les proportions d'eau hygrométrique, de matières volatiles, de carbone fixe, de cendres, ainsi que le pouvoir calorifique des tourbes.

Eau hygrométrique. — Les tourbes simplement desséchées à l'air

retiennent des quantités d'eau hygrométriques variables avec leur texture et surtout avec les circonstances atmosphériques. Dans les temps très chauds et très secs, la tourbe compacte ne perd pas plus de 10 0/0 de son poids, par dessiccation; après plusieurs mois pluvieux, la tourbe à texture un peu lâche retient jusqu'à 25 0/0 d'eau hygrométrique.

La tourbe, complètement séchée à l'air, perd en eau, dans le vide, de 2 à 7 0/0 de son poids, de 12 à 20 0/0 dans une étuve à 100°. Vers 120°, la décomposition commence, avec dégagement de produits qui renferment du carbone et de l'hydrogène; vers 200°, la tourbe commence à s'enflammer dans l'air.

Matières volatiles. — En général, la tourbe, préalablement desséchée à une température supérieure à 100°, perd par calcination de 40 à 50 0/0 de matières volatiles, dont la richesse en carbone dépend beaucoup de la rapidité avec laquelle la calcination est conduite. Quand la calcination est rapide, le carbone équivalent aux matières volatiles varie de 10 à 26 0/0 du poids de la tourbe desséchée à l'air; le chiffre de 26 0/0 est une limite supérieure qui s'applique aux tourbes très pures et presque sèches.

Le tableau suivant indique la manière dont varie la proportion de matières volatiles avec le séchage.

ÉTAT DE LA TOURBE	CARBONE	HYDROGÈNE	OXYGÈNE ET AZOTE	CENDRES	EAU
Tourbe séchée privée de cendres (principes combustibles)......	59,00	5,84	35,16	»	»
Substance sèche, avec les cendres (principes combustibles)......	52,94	5,23	31,55	10,28	»
Tourbe séchée à l'air, avec les cendres.....................	44,54	4,40	26,54	8,64	15,88
La même, en d'autres circonst[ces].	44,50	4,50	26,50	8,50	16,00

La quantité d'azote de la tourbe est importante. La valeur moyenne, qui est de 1,5 0/0, serait supérieure à celle de la houille. Il peut se faire, du reste, que cette proportion élevée soit due en partie à la présence de détritus d'animaux.

Teneur en cendres. — La quantité de cendres, dans une tourbe, peut osciller entre 1 et 30 0/0 et même entre 1/2 et 50 0/0. Natu-

rellement, une tourbe renfermant une quantité de cendres de 25 à 50 0/0 ne présente qu'une très faible valeur.

Les cendres de la tourbe contiennent les mêmes corps que les cendres des plantes, qui ont formé la tourbe et, de plus, en proportion souvent considérable, les matières terreuses apportées par les eaux sous laquelle la tourbe s'est formée : principalement du sable quartzeux en grains plus ou moins fins; de l'argile quelquefois ferrugineuse; du calcaire et plus rarement de la dolomie; du sulfate de calcium; des pyrites.

Ces matières sont partiellement altérées pendant la combustion, et transformées en silicates, dont les bases sont l'alumine, la chaux, l'oxyde de fer, les alcalis. Il y aura en liberté de l'oxyde de fer; de la chaux et de la magnésie à l'état caustique; du sulfate de calcium; des sels alcalins en petite quantité, et enfin du carbonate de calcium, quand la température n'a pas été poussée jusqu'au rouge vif. Les cendres renferment ordinairement très peu d'alcalis et d'acide phosphorique. Dans la tourbe crue, la chaux se trouve en partie à l'état d'ulmate, tandis que, dans les cendres, elle passe à l'état de carbonate. Quelques tourbes de la Somme contiennent une proportion de sulfate de calcium qui peut s'élever à 54 0/0 du poids de leurs cendres. Elles sont aussi très recherchées pour l'agriculture.

Les éléments les plus importants des cendres de tourbes sont donc l'acide sulfurique, la chaux et l'oxyde de fer. Beaucoup de ces cendres ont une couleur de rouille, par suite de la présence en excès de l'oxyde de fer; d'autres, qui en manquent, sont de couleur blanche ou grise. Berthier a donné les chiffres suivants pour exprimer la proportion des cendres de diverses variétés de tourbes :

Tourbe de Château-Landon	15 0/0
— de Clermont (Oise)	17
— de Reims	7
— de Bourgoin (Isère)	7
— de Ham	12
— de Vassy	7

Winkler a trouvé de 1 à 24 0/0 de cendres sur 41 espèces analysées.

La composition chimique des cendres de tourbe peut d'ailleurs se résumer comme l'indique le tableau suivant :

SUR 100 PARTIES EN POIDS DE CENDRES	JAEKEL
Potasse	0,15 à 3,6
Soude	traces à 5,7
Chaux	5,8 à 45,7
Magnésie	traces à 24,0
Alumine	0,9 à 2,3
Oxyde de fer	4,9 à 71,3
Acide phosphorique	1,1 à 6,3
— sulfurique	4,5 à 17,9
— chlorhydrique	0,1 à 2,7
— silicique soluble	0,0 à 2,7
— carbonique	0,0 à 30,6
Matières étrangères mélangées	1,8 à 16,1

Analyse des tourbes. — On opère l'analyse des tourbes en multipliant autant que possible les essais sur des échantillons convenablement choisis. On dose l'eau hygrométrique par dessiccation, on évalue la perte par calcination à l'abri du contact de l'air, on incinère et on pèse les cendres.

Ces trois opérations suffisent pour les tourbes destinées aux usages domestiques ou au chauffage des appareils à vapeur. L'analyse des cendres, et la détermination du pouvoir calorifique, par fusion avec de la litharge, sont indispensables quand il s'agit d'utiliser des tourbes en métallurgie. Il faut même avoir soin de calculer la proportion de carbone pur équivalant aux matières volatiles, afin de pouvoir se rendre compte, au moins par comparaison de différentes tourbes entre elles, du degré de chaleur qu'on peut attendre des flammes à une certaine distance du foyer.

L'analyse immédiate et la détermination du pouvoir calorifique sont encore essentielles, quand il est nécessaire d'apprécier l'influence du lavage suivant la qualité de la tourbe. Le lavage sépare une partie des matières terreuses, mais fait perdre en même temps une fraction très notable de la substance utile; il faut pouvoir comparer au poids de la tourbe brute employée, la proportion des matières utiles et inutiles qu'elle renferme, le poids de la tourbe obtenue par le lavage et sa valeur comme combustible.

Carbone fixe. — On recueille, en proportions extrêmement variables, le carbone fixe ou charbon de tourbe qui, avec les matières terreuses, constitue le résidu fixe de la calcination; pour les tourbes françaises, les essais donnent depuis 14 jusqu'à 39 0/0 de carbone

fixe, les tourbes étant calcinées très rapidement dans l'état où elles sont livrées à la consommation.

On dose le carbone par différence en retranchant du poids trouvé après calcination celui trouvé après incinération; or les tourbes sont souvent mélangées de sulfate de calcium, qui est décomposé presque entièrement en sulfure de calcium par le charbon, pendant la calcination; on pèse donc dans le charbon le carbone plus les matières terreuses renfermant le sulfure de calcium ou bien du sulfate de calcium. Après la combustion dans le moufle, les cendres contiennent le sulfate de calcium, lequel n'est décomposé qu'en proportion variable pendant la calcination. Ce sel est préservé de l'action du quartz et de l'argile par la chaux libre provenant du carbonate de calcium, quand la tourbe contient beaucoup de calcaire; dans le cas contraire, la décomposition du sulfate de calcium peut être complète. Il n'y a donc pas égalité de poids pour le résidu de la calcination d'une tourbe, renfermant du sulfate de calcium.

On ne peut ainsi doser le carbone fixe dans les tourbes que très approximativement.

Cendres. — La proportion des cendres au laboratoire, qui descend très rarement au-dessous de 6 0/0, s'élève en général à 12 et 18 0/0. Les cendres obtenues, soumises à une action oxydante très prolongée, ne renferment pas de sulfure de calcium, comme celles des foyers des chaudières à vapeur et des usines, qui contiennent aussi une certaine quantité de charbon n'ayant pas été complètement brûlé.

Les cendres contiennent beaucoup de silice à l'état de silicates facilement attaquables par les acides les plus faibles; elles ont de l'alumine, de l'oxyde de fer, de la chaux, du sulfate de calcium et des sels alcalins, corps qui peuvent avoir sur la végétation une influence assez favorable. Les cendres de tourbe sont donc employées comme amendement; il est, pour ce motif, quelquefois utile de faire l'analyse complète des cendres. Cette analyse est extrêmement complexe.

Au point de vue de la solubilité dans les réactifs, les cendres se classent ainsi et présentent les proportions suivantes :

Solubles dans l'eau....	Substances organiques..........		1,50	
	— inorganiques........		0,16	
				1,66
Solubles dans l'acide chlorhydrique.	Substances organiques..........		0,13	
	— inorganiques........		2,94	
				3,07
Insoluble dans les deux liquides.	Substances organiques.	Acide ulmique.....	22,60	
		Charbon d'humus..	37,70	
		Résine	4,10	
		Cire...............	1,40	
		Fibres de plantes..	16,22	
				82,02
	Substances inorganiques..............			0,29
Eau				14,50
				101,54

Pouvoir calorifique. — Le pouvoir calorifique de la tourbe est peu inférieur à celui du bois, quand l'expérience est faite sur du combustible séché en plein air; la tourbe desséchée au-dessus de 100° donne, au contraire, avec la litharge, autant et plus de plomb que le bois desséché. Dans son état hygrométrique ordinaire, après plusieurs mois d'exposition à l'air, la tourbe donne avec la litharge de 8 à 15 parties de plomb; elle équivaut, pour son pouvoir calorifique, à une proportion de carbone pur comprise entre les limites de 0,255 à 0,440 de son poids.

Si l'on fait abstraction de l'eau et des cendres, on peut admettre comme pouvoir calorifique de la tourbe 5.300 calories, mais la tourbe ordinaire à 8 0/0 de cendres et 25 0/0 d'eau ne dépasse pas 3.500 calories. D'après les expériences de Brix, 1 kilogramme de tourbe contenant de 8 à 10 0/0 de cendres et 25 0/0 d'eau, vaporise autant d'eau que 1^{kg},200 de bois; si donc on admet que le bois développe par sa combustion 2.900 calories, la tourbe atteindrait le chiffre de 3.500 calories.

Les tourbes de la Somme, chauffées à 100°, sèchent sans se décomposer et sans perdre ni gaz carbonés ni azote. Leur densité moyenne est de 1,405. Les meilleures qualités se trouvent à Longueau, à Camon, à Boves et à Longpré, et contiennent environ 9 0/0 de cendres. Leur pouvoir calorifique, déterminé par la litharge, est environ 3.300 calories, c'est-à-dire voisin de celui du chêne desséché.

Exemples d'analyse. — Pour résumer ce qui a trait à la composition chimique de la tourbe, nous donnerons le tableau suivant d'analyse :

ORIGINES DES TOURBES		COMPOSITION C	H	O + Az	Cendres	DÉDUCTION FAITE DES CENDRES C	H	O + Az	AUTEURS
Tourbe vulgaire		67,03	5,63	31,76	5,58	60,40	5,96	33,64	
— de Louy		58,09	5,63	31,37	4,61	60,89	6,21	32,90	Regnault.
— du Champ-du-Feu		57,19	6,11	30,77	5,33	61,05	6,45	32,50	
— de Rue, près le Crotoy	au louchet	21,0	72,0		7,0	»	»	»	Berthier.
	moulée	20,5	69,2		10,3	»	»	»	
— du Long, près Abbeville	au louchet	23,0	72,2		4,8	»	»	»	
	moulée	18,2	57,2		24,2	»	»	»	
— de Mareuil, près Abbeville	au louchet	24,4	72,0		3,6	»	»	»	Berthier.
	moulée	19,5	67,0		13,5	»	»	»	
— de Château-Landon (Seine-et-Marne)		26,0	59,0		15,0	»	»	»	
— de Demerary		23,5	59,2		17,3	»	»	»	
— de Clermont (Oise)		30,1	53,5		17,4	»	»	»	
— de Truffarda (Italie)		27,50	55,0		17,5	»	»	»	Berthier.
— de Königsbrunn		24,4	70,6		0,5	»	»	»	
— de Saint-Pétersbourg		39,08	54,87		6,04	»	»	»	

Reinsch a donné les résultats suivants comme exprimant la composition d'une tourbe moyenne :

Acide crénique libre	0,1
Crénate cuivrique	0,3
Résine rouge soluble dans l'alcool froid	2,0
Résine visqueuse soluble dans l'alcool froid	1,1
Cire soluble dans l'alcool bouillant	2,6
Résine soluble dans l'éther	0,9
Acide humique soluble dans la potasse	70,7
Matière noire soluble dans la potasse	11,3
Matières inorganiques	11,0
	100,0

Étude au microscope. — Après oxydation de la tourbe par l'acide azotique et le chlorate de potasse, on met en liberté divers fragments de végétaux qu'il peut être intéressant d'examiner au microscope; le plus souvent, leur couleur foncée, qui leur retire toute transparence, rend l'observation très difficile; mais, en les traitant par l'alcool absolu, on les décolore, ou du moins on les éclaircit assez pour pouvoir aisément reconnaître après ce traitement la structure des parties organisées.

Il suffit, d'après M. Gumbel, d'employer, pour ces observations, des esquilles détachées au marteau, les unes suivant la stratification, les autres suivant une direction normale, sans recourir à la préparation toujours délicate de véritables lames minces.

Quelques tourbes compactes présentent avec le boghead ou le cannel coal une analogie singulière ; la cassure en est mate et d'aspect tout à fait homogène ; examinées en lames minces au microscope, elles se montrent composées d'une série de lits horizontaux excessivement étroits, renfermant des grains ronds, jaune clair ou rouge brun, comme ceux qu'on observe également sur des coupes transversales de ces deux variétés de houille. On y reconnaît, en outre, des débris très divisés de feuilles de graminées ou de mousses, quelques fragments de bois et des grains de pollen en nombre incalculable.

Certaines tourbes, vues au microscope, se montrent formées d'une succession de lits très minces, les uns de couleur foncée, les autres de couleur claire, et l'on constate que cette différence de coloration répond à des degrés différents de décomposition des matières végétales; les lits clairs correspondent aux parties les moins altérées.

Dans d'autres on voit sur la cassure transversale alterner des bandes brillantes ou mates, et le traitement par l'ammoniaque apprend que les premières sont formées par les parties solubles des plantes dont les débris constituent la masse de la tourbe.

Préparation mécanique. — Les tourbes sont ainsi très hétérogènes, car elles renferment des débris de plantes très diverses, à des états variables de décomposition, mélangés avec des matières terreuses. Quand elles contiennent des matières terreuses en petite quantité, elles peuvent être employées après une simple dessiccation à l'air; au contraire, les tourbes très chargées de matières terreuses, surtout celles qui sont destinées aux usages métallurgiques, doivent subir une véritable préparation mécanique variable avec la texture du combustible et avec la nature ou la grosseur des grains des matières terreuses qu'il s'agit de séparer. La tourbe lavée, desséchée lentement à l'air, présente une texture généralement très compacte; elle peut donner dans les foyers une température plus élevée que la tourbe non lavée.

Lorsqu'on délaie avec de l'eau de la tourbe fraîchement extraite et qu'on la fait passer à travers un tamis fin, elle se sépare en deux parties complètement différentes. L'une de ces parties est composée de matières fibreuses, qui restent sur le tamis, tandis que l'autre qui traverse les mailles est formée de limon très fin. La partie fibreuse donne, après la dessiccation, des morceaux d'une légèreté surprenante et d'une couleur plus claire; la partie limoneuse est, au contraire, très lourde et d'une couleur très foncée qui diminue beaucoup pendant la dessiccation. Ce phénomène est général pour toutes les espèces de tourbes, à l'exception peut-être de quelques tourbes pisiformes tout à fait anciennes.

BRIQUETTES DE TOURBE. — On brûle, en général, la tourbe sous forme de briquettes dont la longueur varie de 30 à 45 centimètres, la largeur de 10 à 12 centimètres, l'épaisseur de 5 à 6. On emploie, pour obtenir ces briquettes, diverses méthodes.

Méthodes primitives de préparation. — Lorsqu'un marais tourbeux peut être asséché, on y creuse une série de canaux, qu'on utilise pour la dessiccation de la couche de tourbe; c'est ainsi qu'on a exploité les marais de Duvel (région de Brême).

Dans la Frise orientale, on commence par établir un canal et on lui laisse produire son effet d'asséchement longtemps avant l'ex-

traction. La couche de tourbe, en se desséchant, éprouve, sur tous les bords du canal, une diminution d'épaisseur qui atteint jusqu'à 0m,80 et même 1m,20, d'où un accroissement de densité de 20 à 60 0/0. Le dessèchement achevé, on découpe des bandes de tourbe de 30 à 300 mètres de longueur sur 3 à 4 mètres de largeur qu'on divise ensuite au moyen de la bêche ou louchet.

On obtient de la sorte des briquettes qu'on fait sécher. Lorsque les briquettes ont subi une légère dessiccation, on en forme des murailles à claire-voie. La tourbe est ainsi exposée aux courants d'air par de larges surfaces, mais elle l'est aussi à la pluie, de telle sorte qu'on ne peut pousser la dessiccation à l'air que jusqu'à une certaine limite, afin d'éviter les pertes trop considérables que pourrait entraîner l'action du mauvais temps. Pour arriver au dernier degré de dessiccation, les briquettes sont reprises par des femmes, qui les disposent en piles placées sous un hangar, où elles achèvent de perdre leur humidité à l'air; les briquettes abandonnent ainsi 18 à 20 0/0 d'eau.

Dans la région de Brême, la masse tourbeuse est élevée, d'une profondeur de 3 à 4 mètres, au niveau du sol, où les brouetteurs la reçoivent pour la conduire sur un emplacement bien dressé, destiné à l'opération du foulage. Cette opération, qui se fait simplement avec les pieds, doit être conduite avec soin et d'une manière continue. La masse piétinée, disposée en couche d'égale épaisseur sur une surface souvent de plus de 10 ares, est ensuite battue, d'abord par des ouvriers munis de sabots, puis ensuite avec des planchettes. On obtient ainsi par foulage un gâteau que l'on laisse sécher à l'air. On commence par le partager, au moyen de lignes parallèles, en bandes de 25 centimètres de largeur, et, lorsque celles-ci sont à peu près sèches, on les divise en briquettes par des lignes perpendiculaires. Pour faciliter la dessiccation, on place les briquettes par files, debout, sur leur long côté, pendant huit à quatorze jours; quand la dessiccation est assez avancée, on les dispose en tas coniques, en ménageant des vides pour faciliter le contact de l'air. Pour rendre l'action de l'air plus uniforme, on démolit et l'on reconstruit les tas une ou plusieurs fois, suivant les circonstances.

Lorsque les briquettes sont desséchées sur leurs faces intérieures, on en forme des massifs, disposés de manière à offrir peu de prise à la pluie, et ayant généralement de 3 mètres à 3m,50 de longueur et 1 mètre d'épaisseur sur une hauteur de 1m,80 à 2 mètres. On les

laisse subsister une partie de l'arrière-saison, puis on les réunit pour en former d'autres de plus grandes dimensions destinés à passer l'hiver.

Dans les marais qu'on ne peut dessécher, on emploie la drague. En Hollande, le limon, puisé et jeté sur la berge, est foulé avec les pieds comme on le ferait pour le mortier; après l'enlèvement des pierres et des morceaux de bois, il se trouve transformé en une masse homogène, que l'on dessèche en l'étendant sur une aire en couches d'une épaisseur uniforme de 25 ou 30 centimètres.

Pour faciliter l'opération du battage et empêcher la terre de s'attacher à la tourbe, on recouvre préalablement le sol d'une couche de foin qu'on foule avec les pieds. Au bout de quelques jours, la masse a pris une certaine consistance, et on la soumet à un nouveau travail effectué par des femmes et des enfants qui, les pieds munis de sortes de patins, piétinent la tourbe dans tous les sens. On continue cette opération jusqu'à ce que la surface soit assez tassée pour que le pied n'y laisse plus d'empreinte appréciable, et l'on achève d'égaliser la surface supérieure au moyen de quelques coups de battoir. Le gâteau ainsi préparé a une épaisseur de 20 à 22 centimètres; on le partage alors et on le découpe en petits carrés de 10 centimètres de côté, de telle sorte que la longueur des briquettes qu'on obtient de cette manière se trouve être précisément égale à l'épaisseur du gâteau. Pour accélérer la dessiccation, on enlève la première briquette et on la place transversalement sur la seconde, de même on place la troisième sur la quatrième et ainsi de suite.

En Autriche, quand les briquettes ont pris une certaine consistance, on les place sur des appareils, qui se composent de pieux de 2m,50 de hauteur, munis d'un certain nombre de bras taillés en pointes. La dessiccation se fait alors librement à l'air. Quand les conditions économiques de l'exploitation le permettent, on a recours, pour obtenir le dernier degré de dessiccation des briquettes, à de véritables séchoirs établis dans des greniers.

Ces diverses méthodes donnent des produits très imparfaits laissant beaucoup à désirer. La tourbe fine qui se produit pendant le séchage sur le marais et pendant le transport obstrue les grilles et a une valeur médiocre. De plus, la tourbe spongieuse occupe un grand volume dans les chariots, les magasins et les foyers, ce qui empêche de l'employer, quand la question de volume a une importance particulière (locomotives, bateaux à vapeur). Enfin la proportion des cendres est grande,

d'où une faible puissance de chauffage. Toutefois, l'extraction à la drague fournit une tourbe de meilleure qualité que le travail au louchet.

Nouvelles méthodes de préparation des briquettes. — On a cherché à obtenir, par d'autres méthodes, des briquettes de tourbe de grande densité, bien sèches, régulières et pures.

On a d'abord songé à comprimer la tourbe au moyen de machines spéciales (Pernitz, 1821) pour condenser la matière et réduire la durée et la difficulté de la dessiccation en éliminant l'eau. En réalité, on diminue la qualité de la tourbe en la comprimant, car l'eau expulsée entraîne le limon qui a beaucoup de valeur.

On a essayé de comprimer la tourbe, dans des moules percés de trous ou dans des enveloppes poreuses (toiles, nattes). Mais il faut adopter une pression très faible pour ne pas déchirer les enveloppes, et les trous des moules se bouchent très rapidement. La compression est donc lente et insuffisante et, de plus, il arrive souvent que la tourbe fibreuse, pauvre en matière argileuse, gonfle et redevient friable, la pression n'ayant pas détruit l'élasticité des fibres.

Comme principales méthodes de compression, nous ne ferons que citer le cylindrage de la tourbe à Schleissheim qui donne des briquettes sans aucune cohésion. On trouvera dans les traités spéciaux des renseignements sur le procédé de Staltach (près Munich), sur les machines à tourbe de Schlickeysen, de Wersmann, sur les procédés de Montangier et d'Exter. Ce dernier procédé, fondé sur l'emploi d'une presse spéciale, donne des résultats passables, mais il a l'inconvénient de coûter fort cher, environ 12 francs par tonne. Les machines à comprimer la tourbe de Schlickeysen sont très employées, notamment en Russie et en Allemagne. Elles sont robustes et donnent des produits d'une grande cohésion qui supportent bien l'exposition à l'air humide. Avec une force motrice de 6 chevaux, on peut actionner une presse avec appareils découpeur et lamineur qui transforme environ 10 mètres cubes de tourbe humide à l'heure.

Les modèles les plus récents de machines Schlickeysen sont à commande électrique et peuvent charger en wagon une tonne de tourbe en cinq minutes. Une seconde machine écrase, malaxe et comprime la tourbe en blocs, dont la dessiccation commencée à l'air est achevée dans des fours spéciaux.

Après dessiccation, le volume des briquettes est diminué de moitié.

En Suède, le Gouvernement trouve avantage à employer les briquettes de tourbe comme combustible dans les locomotives.

On a fait aussi des essais pour résoudre le problème par des procédés chimiques ou physico-chimiques, emploi de lessives alcalines, d'acides minéraux, de matières agglutinantes, comme par exemple les pommes de terre cuites. On finit par reconnaître qu'il y aurait avantage à faire subir à la tourbe une préparation préliminaire, pour la purifier et pour faciliter l'opération de la compression.

La préparation qu'on fait subir transforme la tourbe en une bouillie à particules très ténues qui se prête parfaitement à l'opération du moulage sous forme de briques. Elle élimine aussi les matières étrangères, et constitue une véritable épuration, qui sépare la plus grande partie des matières minérales, et surtout les grosses fibres, les tiges et les racines qui, pendant la dessiccation, empêchent le retrait de la tourbe et, par suite, son accroissement de densité. De plus, les petites fibres et les menues matières de la marne tourbeuse, en se séparant dans l'eau, se rassemblent et se superposent de telle sorte que, pendant la dessiccation, leur élasticité n'oppose plus d'obstacle au mouvement de rapprochement des molécules qui s'effectue progressivement, à mesure que l'humidité disparaît.

Les matières se déposent, en effet, naturellement par couches horizontales, qui se tassent d'elles-mêmes par la dessiccation, et l'effet produit est équivalent à celui d'une compression énergique. On a reconnu que la tourbe fraîche, extraite en morceaux ou mottes de petites dimensions, se dessèche beaucoup plus rapidement, et qu'après la dessiccation elle se laisse mieux comprimer qu'à l'état frais. La préparation préliminaire, la compression de la tourbe fraîche, celle de la tourbe sèche ainsi que l'épuration de la tourbe pour le moulage, sont donc les principales améliorations introduites aujourd'hui pour la fabrication des briquettes de tourbe.

Dessiccation de la tourbe. — Dans toutes les méthodes de fabrication des briquettes qui viennent d'être examinées, on a vu que la dessication jouait un grand rôle. Nous allons ajouter à ce sujet quelques mots.

La dessiccation ne doit pas être trop rapide. Quand on la dessèche rapidement, la tourbe se crevasse et s'émiette ; les briquettes sont donc spongieuses et ne contiennent que peu de matières combustibles sous un grand volume. D'autre part, pendant la dessiccation, la partie limoneuse se réduit considérablement, tandis que le retrait de la partie

fibreuse est très faible ; les briquettes ne forment plus qu'un amas de petits morceaux reliés par de grosses fibres et par des racines.

La dessiccation, qui doit faire perdre à la tourbe en moyenne 75 0/0 de son poids d'eau, est surtout entravée par les conditions climatériques. Cette dessiccation, qui tout d'abord peut paraître une opération très simple, est en réalité très compliquée ; elle exige beaucoup de temps et de soins.

La gelée, en détruisant la cohésion de la tourbe, lui fait perdre à peu près toute valeur; il en résulte forcément un arrêt de trois à cinq mois dans les climats tempérés qui seuls produisent de la tourbe. Eu égard à cette courte période de travail, il faudrait donc hâter la dessiccation, mais nous avons indiqué pourquoi la dessiccation ne devait pas être rapide.

Dans la dessiccation de la tourbe à l'air libre, on a moins à redouter l'excès de la rapidité du séchage, sous l'action des rayons solaires et d'un vent sec, que l'inconvénient contraire; l'humidité, en effet, retarde la dessiccation et nuit d'une manière très sensible à la qualité de la tourbe.

Les pluies d'averses ont une influence particulièrement fâcheuse, en entraînant la partie limoneuse qui, dans la tourbe, a la plus grande valeur et en ne laissant que des fibres.

Pour protéger contre la pluie la tourbe en train de sécher, on emploie souvent des séchoirs recouverts de toits; mais, pour que l'établissement d'un séchoir couvert ne devienne pas trop onéreux, il faut lui donner une assez grande hauteur ; dans ce cas, il n'offre qu'une protection insuffisante contre les pluies qui rencontrent les faces latérales sous une certaine inclinaison; les toits sont, en outre, un obstacle à la libre circulation de l'air. Enfin, dans certaines installations, afin d'utiliser le mieux possible l'espace couvert, on établit la tourbe à sécher sur une grande épaisseur, en ne conservant pour le passage de l'air que des sections relativement restreintes; car le renouvellement de l'air pendant la dessiccation est infiniment plus efficace que l'action directe des rayons solaires.

L'emploi de la chaleur artificielle pour favoriser la dessiccation de la tourbe fraîche présente des inconvénients sérieux. Dans la dessiccation à l'air libre, l'humidité ne marche de l'intérieur vers la surface extérieure des briques qu'au fur et à mesure de la dessiccation de cette surface par l'air. Sous l'action plus énergique de la chaleur artificielle, la dessiccation des couches extérieures s'effectue plus rapi-

dement que la transmission de l'humidité fournie par les couches intérieures; il se forme de bonne heure, spécialement dans les tourbes pisciformes, une croûte épaisse et solide qui retarde énormément la dessiccation de la partie centrale et produit des crevasses. Il vaut mieux, par conséquent, laisser la tourbe se dessécher d'abord à l'air jusqu'à un certain degré, pour continuer ensuite l'expulsion de l'humidité naturelle par l'emploi de la chaleur artificielle. On pousse la dessiccation plus ou moins loin. Si la dessiccation est trop forte, la tourbe reprend très rapidement de l'eau hygrométrique.

Le four Dobston, au Canada, consiste en un cylindre muni d'un mouvement de rotation que chauffent les flammes d'un foyer, le maximum de température se produisant au point où la tourbe arrive humide. Les gaz de la combustion font le tour du cylindre à l'aide de cloisons ménagées à cet effet.

Les principaux fours usités pour la dessiccation de la tourbe sont ceux de Lippitzbach (Carinthie), les fours de Schlögel, de l'usine Alexis à Lingen, de Weber, employé à Haspelmoor, près d'Augsbourg, de Welkner, etc. La plupart de ces appareils ne donnent que de très mauvais résultats avec des prix de revient élevés et des pertes par émiettage considérables.

Dans un procédé récent de fabrication des briquettes de tourbe, la tourbe est réduite en pulpe qu'on débarrasse, par lessivage, du sable et des pierres. On utilise la force centrifuge pour enlever l'excès d'eau, et la pulpe est amenée par la pression à l'état de bandes minces qui passent ensuite sur des cylindres sécheurs.

La tourbe est alors soumise à une pression de 2.000 atmosphères et forme des briquettes analogues aux briquettes ordinaires.

Les briquettes de tourbe contiennent :

Carbone	52,5
Hydrogène	4,8
Oxygène	22,1
Cendres	9,0
Eau	11,6

Elles constituent un combustible dont la puissance calorifique s'élève à 4.850 calories par kilogramme. Le mètre cube de briquettes revient en Allemagne à 6 fr. 25 ou 8 fr. 75 suivant l'importance de l'outillage. Une usine produisant 50 tonnes par jour coûte 320.000 francs.

Emplois de la tourbe. — Comme matière combustible, la tourbe a une valeur variable non seulement d'un gisement à l'autre, mais encore dans le même gisement, et, sous ce rapport, il est impossible de fixer *a priori* la valeur d'une tourbière. Ce n'est qu'après des sondages réitérés et un minutieux examen des couches, qu'on peut la déterminer. Il faut choisir avec soin le lieu où il faut placer l'exploitation et la méthode avec laquelle il convient de la conduire.

La tourbe, convenablement préparée, peut éventuellement remplacer la houille, même dans l'industrie métallurgique. Il faut avoir soin seulement de l'employer sitôt après le séchage pour l'empêcher de reprendre de l'eau hygrométrique.

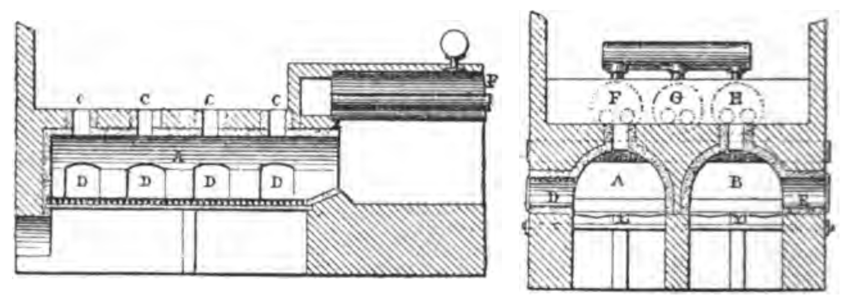


FIG. 121 et 122. — Foyer Hoyt pour l'emploi de la tourbe.

Le soufre et le phosphore, qu'on rencontre parfois en petite quantité dans la tourbe, ne proviennent que des tourbes marines infiniment rares, et l'on n'a guère à craindre que ces substances altèrent les métaux en traitement. La tourbe dégageant une chaleur constante, on aura moins à redouter ces coups de feu qui brûlent le fer ou fondent les creusets de verreries ou d'aciéries; les plus beaux cristaux de Bohême s'obtiennent au feu de tourbe. En Russie, la tourbe est très employée dans les usines de Moscou, même depuis que l'exploitation de la houille a pris une certaine extension.

La transformation de la tourbe en briquettes n'est indispensable que pour les foyers dont la disposition exige l'emploi de combustibles en morceaux de grandes dimensions. Depuis qu'on a imaginé certaines formes de grilles qui permettent de brûler la sciure de bois (Voir page 330) avec avantage et sans la moindre difficulté, la question se présente dans des conditions complètement différentes, et il ne reste plus aucun doute sur la possibilité de brûler directement le poussier de tourbe sur des grilles à étages, et d'éviter ainsi les frais

de moulage. Il en résulte que, pour les établissements industriels établis dans le voisinage d'une tourbière, il est possible de réaliser une économie importante toutes les fois que rien ne s'oppose à l'emploi de grilles à étages, tandis qu'il convient de s'en tenir à la tourbe moulée pour les foyers déjà établis de petites manufactures et pour ceux qui, se trouvant très éloignés d'un centre d'exploitation, exposeraient les matières à être mouillées en cours de route.

Lorsqu'on emploie les grilles à étages, il faut parfois avoir recours au tirage forcé, obtenu soit avec une haute cheminée, soit à l'aide d'un ventilateur, ce qui a le désavantage d'entraîner une certaine partie du combustible dans les carnaux et même jusqu'à la cheminée.

Le dispositif suivant peut être employé avantageusement pour le chauffage des chaudières au moyen de la tourbe.

Le foyer Hoyt (*fig.* 121 et 122) est placé au-dessous et en avant de la batterie de chaudières F, G, H ; le combustible est introduit par les trous C, C ; il forme, en tombant, une série de pyramides qu'on démolit en les aplanissant sur la grille. Les trous de chargement sont toujours fermés, on ne les ouvre que pour verser le combustible, lorsque cela est nécessaire.

On emploie une grille ordinaire, avec barreaux bien rapprochés dont la surface atteint presque le 1/5 de la surface de chauffe ; le combustible brûle complètement, sans entraînement, et les briques réfractaires que contient le foyer assurent en même temps l'égalité de la température. Les portes D, E, généralement fermées ne sont ouvertes que pour le nettoyage de la grille.

L'espace au-dessus du foyer forme deux ouvertures, A et B, par lesquelles les flammes débouchent au-dessous des chaudières qu'elles parcourent sur toute leur longueur ; de là elles reviennent par les tubes intérieurs et s'en vont ensuite à la cheminée. On obtient ainsi une très bonne utilisation du combustible avec une conduite du foyer très facile.

La tourbe employée pour les essais de ce foyer était préalablement séchée à l'air libre et avait, après séchage, une composition moyenne suivante :

Carbone	45,4
Hydrogène	4,6
Oxygène	23,0
Azote	1,0
Eau	24,2
Cendres	1,8
	100,0

Dans ces conditions, sa puissance calorifique est de 3.250 calories, ce qui correspond, avec le foyer Hoyt, à une vaporisation de 3^{kg},360 d'eau par kilogramme de tourbe.

CARBONISATION DE LA TOURBE. — La tourbe, soumise à une température élevée, dégage de l'eau, des carbures d'hydrogène et des gaz; le résidu solide est un charbon possédant un pouvoir calorifique très élevé, et analogue, par son aspect extérieur, au charbon de bois.

La distillation sèche d'une tourbe de la vallée de la Vesle a fourni :

Gaz divers	22,70
Substance huileuse	8,15
Acide pyroligneux	25,00
Charbon	32,00
Sels	12,00
Perte	2,15
	102.00

Lamberville soumit, le premier, la tourbe à la calcination, en 1671, et obtint du charbon. Ses essais furent repris au commencement du siècle avec la méthode des meules analogue à celle que l'on emploie pour le bois (Voir page 347). On a fait aussi des essais dans des vases clos de formes variables ou dans des trous creusés dans la terre et revêtus d'une chemise de briques. On a essayé des fours analogues à ceux qu'on emploie pour la fabrication du coke. On fait usage enfin du four électrique.

M. Challeton a employé des appareils dans lesquels la carbonisation se fait d'une manière progressive et continue; on refroidit lentement et à l'abri du contact de l'air le charbon obtenu. On obtient de cette manière un charbon dur, à cassure métallique, se brisant peu, produisant peu de menu. On chauffe l'appareil avec le gaz qui se dégage pendant l'opération, car 1.000 kilogrammes de tourbe donnent 286 mètres cubes de gaz protocarboné et bicarboné.

La composition chimique du charbon de tourbe est la suivante :

	CARBONE	HYDROGÈNE	OXYGÈNE	AZOTE	CENDRES
Charbon de tourbe d'après la méthode de Vignoles (Heintz).	78,4	4,0	14,8	»	2,8
Charbon de tourbe de Bog d'Allen (Phillips)	79,2	2,2	6,4	0,54	11,6

Les sous-produits de la carbonisation de la tourbe sont : du goudron, des huiles essentielles volatiles, de l'alcool analogue à l'esprit de bois, du carbonate d'ammoniaque, du gaz hydrogène protocarboné et bicarboné, plus une certaine proportion d'oxyde de carbone et d'acide carbonique.

Carbonisation en meules. — La carbonisation de la tourbe s'opère facilement grâce à la forme régulière des briquettes, qui supprime les vides, et grâce à l'inflammabilité de la tourbe. On peut donc employer des meules de petit volume contenant de 700 à 1.000 briquettes et mesurant de 2 à 2^m,50 de diamètre sur 1^m,20 de hauteur.

Pour construire une meule, on établit, sur un terrain bien sec, une cheminée au pied de laquelle on dispose de la résine ou du bois sec pour l'allumage. On superpose tout autour cinq ou six couches concentriques de briquettes avec des diamètres décroissants en laissant sur les quatre côtés des évents larges d'une briquette dirigés vers le centre pour bien répartir la chaleur dans l'intérieur de la meule et éviter qu'elle ne soit trop compacte. On revêt ensuite la meule d'une chemise de mousse et de poussière, puis d'une seconde chemise en terre ou en cendres ne laissant libre que le sommet de la cheminée centrale.

On met le feu par l'un des canaux d'aérage. En fermant ou en ouvrant les évents, on propage le feu dans toutes les directions, jusqu'au moment où la flamme apparaît à l'orifice supérieur de la cheminée, que l'on bouche alors ; la combustion se propage ensuite en descendant vers la base. On surveille, d'après la couleur de la fumée, la marche de l'opération, qui varie avec l'âge, la densité et la nature de la tourbe.

Le rendement n'est pas le même suivant l'état physique de la tourbe, comme le montre le tableau suivant :

NATURE DE LA TOURBE	RENDEMENT	
	EN POIDS	EN VOLUME
Tourbe un peu humide	24	27
Tourbe sèche	27	32
Tourbe légère fraîchement extraite (Darmstadt)	30	29
Excellente tourbe	35	49
Essais en petit	40	»

On ne démolit les meules qu'après refroidissement complet, parce que le charbon de tourbe est difficile à retirer et à éteindre sans qu'il s'émiette et perde toute sa valeur.

Four d'Oberndorf. — A Oberndorf (Wurtemberg), les fours ont la forme d'un cylindre vertical de 3 mètres de hauteur et de 1m,80 de diamètre intérieur fermé à la partie supérieure par une voûte hémisphérique (*fig.* 123). Le four est entouré d'un revêtement dont il est séparé par une couche isolante de sable qui règne jusqu'à la clef de

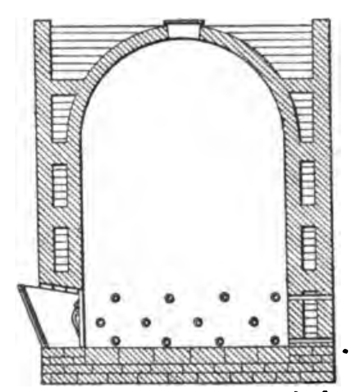


Fig. 123. — Four d'Oberndorf.

voûte. Les deux murailles en pierres réfractaires ont une épaisseur de 0m,40, et le vide qui les sépare, est également de 0m,40. De mètre en mètre, des pierres relient les deux murs. Au-dessus de la sole sont ménagées trois séries d'évents. On ferme la porte d'extraction par une porte formée de deux plaques de fonte séparées par une couche de sable. On ménage un canal d'allumage en chargeant le four au début de l'opération. On maintient ouvert l'orifice supérieur et les évents inférieurs, puis on ferme ceux-ci, dès que la tourbe est suffisamment chauffée, et on laisse ouverts les évents supérieurs. Quand la fumée a disparu, on bouche toutes les ouvertures. On supprime l'accès d'air au bout de quarante à quarante-huit heures, et le refroidissement dure six à sept jours. En juxtaposant plusieurs fours analogues, on évite les renversements et on rend le travail continu.

Carbonisation en Angleterre. — Dans les tourbières d'Angleterre (Chatmoss, Bartonmoss), on se sert de fosses maçonnées, de 3 mètres de profondeur et 4 mètres de diamètre. Quand on

charge la fosse, on ménage, au moyen de morceaux de bois qu'on retire ensuite, des canaux de circulation pour la flamme; on opère sur trois ou quatre charretées de tourbe à la fois, et la carbonisation dure de vingt-quatre à trente-six heures. La tourbe de première qualité rend 50 0/0 de son poids en charbon, la tourbe moyenne 33 0/0 et la tourbe légère 25 0/0.

Dans la grande tourbière de Bog d'Allen (Irlande), on emploie des fours en tôle ayant la forme d'un tronc de pyramide et mobiles sur un système de rails que l'on amène, pendant la carbonisation, dans la salle de dessiccation de la tourbe, de manière à utiliser pour cette dessiccation la chaleur perdue. Le fond est fermé par une plaque en tôle, mobile, percée de trous et qui remplit l'office de grille. Les rails laissent entre eux une fosse en maçonnerie, revêtue de plaques de tôle, et que l'on peut emplir d'eau à un moment donné. Chaque salle de dessiccation contient quatre fosses, sur chacune d'elles on peut placer cinq fours, correspondant à autant de cheminées d'appel, ménagées dans la toiture de la salle.

On allume les fours par le bas et, grâce au tirage des cheminées, la combustion se propage rapidement dans la masse. Quand la carbonisation est achevée, dès que la fumée est claire et transparente, le charbon de tourbe étant solide et résistant au ringard, on emplit rapidement la fosse avec de l'eau, dont le niveau dépasse un peu la partie inférieure des fours et forme ainsi joint hydraulique, en empêchant l'accès de l'air. Le feu s'éteint progressivement et la masse se refroidit lentement; on sort alors les fours de la salle pour les charger à nouveau.

Chaque batterie de fours, ainsi que ses cheminées, est isolée par un manteau en tôle, qui empêche la flamme de se communiquer à la tourbe déposée dans le reste du séchoir. Les murs du séchoir sont à claire-voie, en forme de jalousies, pour activer la dessiccation par le tirage naturel, quand le temps est favorable.

Les fours contiennent chacun environ 300 kilogrammes de tourbe, et leur rendement, qui est de 23 à 24 0/0, serait certainement plus élevé, si l'appel se faisait dans la tourbe de haut en bas. Avec le tirage de bas en haut, on perd une partie de la tourbe qui brûle, et on produit une forte proportion de charbon de tourbe creux et mauvais, parce que l'air pénètre dans tous les pores et les agrandit.

Installation de Staltach. — A Staltach, près de Munich, on carbonise la tourbe dans des fours du système Schwartz analogues à ceux

employés pour le charbon de bois (Voir page 357), et l'on dirige immédiatement, à travers la tourbe, les gaz de la combustion produits par un foyer voisin. Les fours cylindriques en tôle, enveloppés d'un revêtement de maçonnerie, ont 4m,75 environ de diamètre et 1m,10 de haut. A la partie inférieure, la tourbe repose sur un plancher métallique à grillage. En haut, le cylindre est muni d'un couvercle servant à l'extraction, auquel aboutit un large tuyau communiquant avec un foyer analogue à ceux des fours à porcelaine. Le tirage est obtenu par aspiration, et l'on règle le feu de manière que la flamme ne contienne pas un excès d'oxygène. Les gaz chauds du foyer, en traversant la masse de tourbe, la décomposent et entraînent les matières volatiles, que l'on fait passer dans un condenseur pour recueillir le goudron.

Le four contient 14 mètres cubes de tourbe, et la carbonisation dure quinze heures avec une dépense de 175 kilogrammes de bois de chauffage. Le refroidissement dure douze heures. Le rendement est de 50 0/0 en poids et de 75 0/0 en volume. Le charbon, sonore, dur et résistant, a l'aspect brillant du coke; sa densité est supérieure à celle du charbon de bois.

Une compagnie exploite en Irlande, à Glemmore, les procédés Blunden et Bell. Le produit obtenu pèse un tiers de son volume de houille et donne un feu clair satisfaisant.

Le procédé Vilen, de Goteborg, consiste à chauffer la tourbe entre 200 et 300° C., puis à abaisser la température entre 60 et 70° dans des cylindres de tôle de dimensions restreintes encastrés dans un carnau. La valeur calorifique du coke obtenu serait de 6.000 calories, alors que celle de la tourbe est de 2.500 calories.

Essais divers de carbonisation. — En 1849, Vignoles prit un brevet pour carboniser la tourbe, à l'aide de vapeur surchauffée à la température de fusion de l'étain ou du plomb.

La tourbe est divisée sous des meules ou dans un broyeur à argile, desséchée dans une turbine et mise ensuite en blocs compacts. On remplit de ces blocs un grand cylindre en tôle, dans lequel on fait arriver de la vapeur à une pression de 3 1/2 à 4 atmosphères, vapeur surchauffée dans des tuyaux portés au rouge.

D'après les expériences exécutées en grand par Vignoles, le prix de revient serait de 10 fr. 40 par tonne de coke, en dehors des droits de brevet. D'après d'autres renseignements, on dépense, avec ce procédé, 3 tonnes de tourbe pour obtenir une tonne de coke; le prix

de revient serait, par suite, supérieur au prix indiqué par Vignoles. L'essai méritait seulement d'être signalé.

Divers essais ont été faits également pour produire le charbon de tourbe au moyen de l'électricité. Nous citerons notamment le procédé du Suédois Jebsen, modifié par un chimiste français, M. Roux. Le charbon obtenu au four électrique est beau d'aspect, supérieur au charbon de bois, et aurait comme pouvoir calorifique 5 à 6.000 calories.

B.- H. Thwaite a fait de nombreux essais sur la production du gaz pauvre au moyen de la tourbe d'Irlande et sur son utilisation dans les moteurs; il a obtenu de très bons résultats et des diagrammes différant très peu de ceux que donne le gaz pauvre provenant de la houille. En distillant 100 kilogrammes de tourbe, on obtient 250 mètres cubes de gaz sec à 0° et sous une pression de 760 millimètres qui dégagent de 1.200 à 1.400 calories. En supposant une consommation de 4 mètres cubes de gaz par cheval-heure, 100 kilogrammes de tourbe fournissent un minimum de 60 chevaux. On peut exploiter économiquement des tourbières, en installant sur place des stations centrales électriques avec moteurs à gaz puissants consommant 80 tonnes de tourbe par journée de vingt heures, soit 24.000 tonnes par année de 300 jours utiles; on peut utiliser ainsi des tourbes contenant jusqu'à 40 0/0 d'eau.

On a également songé à utiliser les sous-produits provenant de la carbonisation de la tourbe. Ces produits, s'ils sont gazeux, pourront donner de l'énergie électrique, après avoir été utilisés sous des chaudières. S'ils sont liquides, ils ont la composition que nous avons indiquée et contiennent surtout de l'acide pyroligneux ou des substances analogues à celles que nous définirons pour la carbonisation du bois.

Dopplérite. — Parmi les substances qui se rattachent à la tourbe, l'une des plus intéressantes est le *dopplérite*, observé dans quelques tourbes, notamment aux environs de Berchtesgaden. C'est une substance brune, élastique quand elle est humide, qui, desséchée lentement, se transforme en une masse compacte noire, à cassure brillante, qui ne réabsorbe plus l'eau et ne se dissout ni dans l'alcool ni dans l'éther. Traitée par la potasse, elle se fond en une liqueur d'un brun foncé, au milieu de laquelle on découvre quelques débris de plantes et de petits grains de couleur jaune faiblement réfringents, montrant la croix noire à la lumière polarisée, et présentant, en somme, la plus parfaite ressemblance avec ce qu'on observe

dans les houilles après traitement par les réactifs oxydants. Même après l'attaque par l'acide nitrique et le chlorate de potasse, il est impossible d'y découvrir la moindre trace d'organisation. Le dopplérite brûle avec une flamme fumeuse et laisse 8,25 0/0 de cendres blanches qui se dissolvent dans les acides avec un brunissement prononcé. Il semble que la chaux soit, dans le dopplérite, à l'état de combinaison chimique avec l'acide ulmique.

Cette matière offre la plus grande ressemblance, à tous les points de vue, avec celle qui constitue le ciment de la plupart des tourbes, ciment dont on retrouve l'analogue dans presque tous les combustibles minéraux.

Il convient de rapprocher du dopplérite la matière charbonneuse qui constitue les couches de *Papierkohle* du carbonifère du gouvernement de Toula, dans la Russie centrale. Cette matière, interposée entre les innombrables fragments de cuticules qui donnent à la masse sa structure feuilletée, est, en effet, comme le dopplérite, complètement soluble dans la potasse et dans l'ammoniaque; elle présente tous les caractères de l'acide ulmique, ainsi que M. Zeiller l'a montré[1].

1. *Bulletin de la Société botanique de France*, t. XXVII, p. 349; et *Annales des sciences naturelles*, 6e série, *Botanique*, t. XIII, p. 219.

CHAPITRE XIV

BOIS

Propriétés générales. — *Composition chimique.* — Teneur en eau. — Teneur en cendres et composition des cendres. — *Analyse.* — Pouvoir calorifique. — *Réception des bois.* — *Emploi du bois et de ses dérivés.* — Sciure de bois. — Foyer à sciure de bois. —Alimentation des foyers à sciure de bois. — Briquettes de sciure de bois. — Tannée. — Foyer Godillot. — Bagasse. — Four Fryer. — Four Abell. — Foyers de la Réunion. — Foyers divers.

Propriétés générales. — Les bois sont formés essentiellement par un tissu organique et par une faible proportion de matière inorganique. Ordinairement ils renferment une grande quantité d'eau que l'on peut enlever à une température assez basse, inférieure à celle où la matière organique se décompose.

Dans toutes les espèces de bois, la composition élémentaire du tissu organique est la même ; mais celui-ci s'y trouve associé à des principes organiques très variables suivant l'essence des arbres. C'est ainsi que les pins contiennent de la térébenthine, et les chênes du tannin. Ce tissu organique est la partie essentiellement combustible du bois.

Les caractères extérieurs des bois sont très différents les uns des autres. Certains bois sont légers, tendres, à tissu lâche, tandis que d'autres sont lourds, durs et à grain serré. On classe donc les bois tout naturellement en bois tendres et légers, parmi lesquels se trouvent le sapin, le tilleul, et en bois lourds et durs, comme le chêne, le charme.

La densité du bois, comme celle de tous les corps poreux, peut être considérée de deux façons différentes.

On peut chercher la densité du bois sous son volume apparent, en façonnant dans le bois un prisme dont on puisse mesurer facilement

le volume ; on prendra le poids du prisme. Le rapport de ce poids au poids du même volume d'eau est la densité cherchée.

Cette densité varie pour un même bois avec son état hygrométrique, avec la forme et la position des fibres dans l'échantillon choisi. Elle se trouve aussi étroitement liée avec la différence de structure et dépend de la matière solide qui constitue les cellules, de l'eau et de l'air qu'elles renferment. Ainsi on aura les chiffres suivants :

Chêne de futaie....................	275 kilogrammes.
Chêne scié en quatre...............	386 —
Chêne coupé depuis un an..........	485 —
Hêtre............................	400 —
Sapin............................	300 à 340 kg.
Tremble..........................	190 à 220 —

A Paris, le bois de chauffage ordinaire pèse, en moyenne, 350 kilogrammes le stère. La mesure employée dans les chantiers pour livrer le stère a 1 mètre de long sur $0^m,88$ de haut.

On peut aussi déterminer la densité de la fibre ligneuse qui forme le bois. Le bois, réduit en poudre fine au moyen de la lime, est desséché à 100°, puis placé dans un flacon plein d'eau dans lequel on fait le vide. Le bois y reste pendant six jours.

En désignant par P le poids du flacon plein d'eau avant l'introduction du bois ; par P', le poids du flacon plein d'eau à la fin de l'opération ; par π, le poids du bois introduit ; et par δ, la densité du bois, la densité est donnée, par la formule suivante analogue à celle qui a été indiquée pour la houille.

$$\delta = \frac{\pi}{\pi + P - P'}.$$

En suivant cette méthode, on a trouvé que tous les bois avaient la même densité, et qu'elle était égale à 1,50. Pour les bois de chêne, de bourdaine et de peuplier, les variations extrêmes sont comprises entre 1,51 et 1,52.

Composition chimique. — La composition du bois, quant aux principes élémentaires, se rapproche beaucoup de celle des corps cellulosiques. Il faut ajouter aux principes constituants de la cellulose, qui sont le carbone, l'hydrogène et l'oxygène, les principes de la sève, les matières minérales empruntées au sol par la végétation, matières que l'on retrouve dans les cendres du bois après sa combustion et, enfin, l'azote.

Le tableau suivant donnera une première idée de la composition élémentaire des bois secs. Les échantillons de bois analysés ont été pris sur le tronc de chaque arbre.

NOMS DES ARBRES	C	H	O	Az
Chêne	48,94	5,94	43,09	2,03
Chêne	49,43	6,07	44,50	—
Hêtre	48,29	6,00	45,14	0,57
Hêtre rouge	48,18	6,28	45,54	»
Hêtre blanc	48,53	6,30	45,17	»
Bouleau	48,89	6,19	43,93	0,99
Charme	48,08	6,12	44,93	0,87
Aune	49,20	6,22	44,59	0,68
Frêne	49,35	6,07	44,56	»
Marronnier d'Inde	49,08	6,71	44,21	»
Peuplier noir	49,70	6,31	43,99	»
Tilleul	49,41	6,86	43,73	0,63
Pin sauvage (vieux bois)	49,87	6,09	43,41	»
Pin sauvage (jeune bois)	50,62	6,27	42,58	0,53
Faux sapin	49,95	6,41	43,65	»
Sapin commun	49,59	6,38	44,02	»
Mélèze	50,11	6,31	43,58	»
Pommier	48,90	6,23	44,83	»
Buis	49,37	6,52	44,11	»
Noyer	49,11	6,44	44,44	»

Si l'on réunit les résultats fournis par l'analyse pour les diverses parties d'un même arbre, on obtient le tableau suivant :

NATURE DU COMBUSTIBLE		C	H	O + Az	CENDRES
Feuilles		45,015	6,971	40,910	7,118
Petites branches	Écorce	52,496	7,312	36,737	3,454
	Bois	48,359	6,605	44,730	0,304
Moyennes branches	Écorce	48,855	6,342	41,121	3,682
	Bois	49,902	6,607	43,356	0,134
Grosses branches	Écorce	46,871	5,570	44,656	2,903
	Bois	48,003	6,472	45,170	0,354
Troncs	Écorce	46,267	5,930	44,735	2,657
	Bois	48,925	6,460	44,319	0,296
Grosses racines	Écorce	49,085	6,624	48,761	1,129
	Bois	49,324	6,280	44,108	0,231

Teneur en eau. — La quantité d'eau que renferme le bois est la

plus grande possible à l'époque de la pousse de la sève et la plus faible au moment où la végétation s'arrête. On doit donc toujours abattre le bois pendant cette dernière période, à moins de circonstances spéciales qui forcent à agir autrement.

On a reconnu que le sapin renferme, en janvier, 53 0/0 d'eau et, en avril, 61 0/0 ; le frêne renferme, en janvier, 29 0/0 d'eau et, en avril, 39 0/0.

L'eau est plus abondante dans les petites branches et dans les rameaux que dans les troncs des arbres.

Enfin on a trouvé que les quantités d'eau contenues dans les bois fraîchement coupés varient suivant les essences. D'après Le Play, le bois, au moment de l'abatage, renferme une quantité d'eau qui est rarement inférieure à 45 0/0.

Dans les forêts de l'Europe centrale, les bois coupés pendant l'hiver retiennent encore, à la fin de l'été, plus de 40 0/0 d'eau et des bois conservés pendant plusieurs années dans un lieu sec renferment encore de 15 à 20 0/0 d'eau.

Quand le bois a été fortement desséché et qu'il est ensuite exposé à l'air dans les circonstances ordinaires, il prend à peu près 5 0/0 d'eau pendant les trois premiers jours, puis il continue à en absorber jusqu'à ce qu'il en contienne 15 0/0 environ. Il devient alors très hygrométrique et perd ou absorbe l'eau suivant l'état de sécheresse ou de l'humidité de l'air environnant.

La proportion de l'eau hygroscopique contenue dans le bois peut se déterminer en exposant le bois à une température variant entre 100 et 150°. La quantité d'eau enlevée par une dessiccation jusqu'à 250° ressort du tableau suivant :

TEMPÉRATURE de la DESSICCATION	EAU EXPULSÉE DE 100 PARTIES DE BOIS			
	CHÊNE	FRÊNE	ORME	NOYER
125°	15,26	14,78	15,32	15,55
150°	17,93	16,19	17,02	17,43
175°	32,13	21,22	36,94	21,00
200°	35,80	27,51	33,38	41,77
250°	44,31	33,38	40,56	36,56

Mais ces chiffres ne peuvent être considérés comme exacts, car la décomposition du bois se produit aux environs de 200°.

On a constaté que la dessiccation du bois à l'air est activée par l'enlèvement de l'écorce ; on a trouvé les résultats suivants :

	PERTE POUR CENT DU POIDS PRIMITIF DU BOIS			
	Juillet	Août	Septembre	Octobre
	—	—	—	—
Troncs écorcés.......	34,53	38,77	39,34	39,62
Troncs avec écorce...	0,41	0,84	0,92	0,98

L'écorcement avant dessiccation est donc très important.

Teneur en cendres et composition des cendres. — L'incinération d'un échantillon de bois donne des cendres très variables comme quantité et comme composition.

En général, les feuilles et l'écorce donnent plus de cendres que les branches. Les quantités de cendres varient aussi avec la nature des bois.

Voici, pour quelques essences, les teneurs en cendres.

NOMS DES BOIS	NOMBRE D'INCINÉRATIONS	CENDRES 0/0
Saule..................................	17	2,00
Tremble................................	59	1,73
Chêne..................................	93	1,65
Charme.................................	73	1,62
Aune...................................	26	1,38
Hêtre..................................	93	1,06
Pin sauvage............................	28	1,04
Sapin..................................	46	1,02
Bouleau................................	89	0,85

La nature du sol influe sur la proportion des cendres, surtout lorsqu'il s'agit de bois tendres. La matière inorganique peut aussi être répartie inégalement dans un même tronçon de bois.

En ce qui concerne cette composition des cendres, nous donnerons comme exemple les résultats d'analyses exécutées sur des cendres de bouleau et de hêtre. Les échantillons soumis à l'analyse avaient poussé dans des sols de nature différente, si bien que la nature de ce sol a influé sur la nature des cendres.

L'échantillon n° 1 avait poussé sur un sol riche en alumine, en sesquioxyde de fer et en silice.

L'échantillon n° 2 était venu sur un sol très riche en chaux.

L'échantillon n° 3 avait poussé sur un sol fournissant à l'analyse près de 95 0/0 de matières insolubles dans les acides.

Enfin les sols des échantillons n° 4 et n° 5 étaient respectivement ceux des échantillons n° 2 et n° 3.

	BOULEAU			HÊTRE	
	1	2	3	4	5
Potasse	12,81	5,67	14,78	6,94	10,91
Soude	1,60	1,25	2,77	0,34	1,23
Chaux	26,72	46,89	»	43,59	13,55
Magnésie	2,22	1,69	11,78	5,39	12,03
Alumine	1,38	0,42	»	»	0,05
Peroxyde de fer	0,78	0,47	»	0,62	»
Oxyde de manganèse	»	1,67	3,81	»	3,47
Silice	2,88	1,51	4,00	2,13	6,36
Acide carbonique	18,83	24,67	12,92	28,29	26,24
Acide phosphorique	8,13	4,22	16,65	7,54	5,64
Acide sulfurique	0,02	»	2,77	0,62	1,04
Chlore	»	»	»	»	»
Résidu insoluble	7,17	7,17	9,84	0,62	6,68
Eau	19,84	2,40	4,67	3,66	10,71

La répartition des substances chimiques est, en général, la suivante dans les diverses familles.

Pour le *chlore*, les cendres des arbres appartenant au groupe des Amentacées donnent presque constamment moins de 1 0/0 et souvent des traces seulement. Les cendres des Conifères paraissent en contenir un peu plus de 1 à 2 0/0.

Pour l'*acide sulfurique* les proportions sont variables. Plusieurs arbres en fournissent moins de 1 0/0, tels certains peupliers ; d'autres peupliers en contiennent jusqu'à 4 0/0. Le pin en fournit jusqu'à 10 0/0.

Dans les cendres des Conifères, on rencontre 3 à 6 0/0 d'*acide phosphorique ;* le chêne et l'ormeau en fournissent de 7 à 9 0/0 ; le buis, 11 0/0. Les Rosacées arborescentes ne donnent que 3 à 5 0/0.

Les Rosacées frutescentes et arborescentes renferment seulement quelques centièmes de *silice*. Les Conifères, la vigne, le buis en contiennent de 6 à 12 0/0 ; enfin, les Amentacées en sont presque entièrement dépourvues.

Pour ce qui est des *alcalis*, dans les Amentacées, le seul alcali est la potasse. Les Conifères contiennent jusqu'à 6 0/0 de potasse. En

général, les végétaux ont plus de tendance à absorber la potasse que la soude, mais les Amentacées sont beaucoup plus pauvres en alcalis que la majorité des plantes herbacées.

Analyse. — L'analyse d'un bois considéré comme combustible se fait de la façon suivante :

1° On détermine la proportion d'eau à 120° dans l'étuve;

2° Pour fixer la quantité de parties volatiles combustibles, on prend 1 gramme ou 2 grammes de bois que l'on chauffe rapidement au rouge dans un creuset de platine fermé. Dès que les parties volatiles cessent de brûler au-dessus du couvercle, on laisse refroidir et l'on pèse;

3° On détermine ensuite les cendres et le carbone du coke laissé par la première calcination. Pour cela, on chauffe le creuset au rouge vif sans le couvrir jusqu'à ce que tout le carbone soit brûlé. Le poids nouveau fournit les cendres. Par différence, on a le carbone;

4° Enfin, on examine et on analyse les cendres en pratiquant l'analyse élémentaire que nous avons indiquée pour la houille (Voir page 28).

Pouvoir calorifique. — La puissance calorifique des bois dépend de leur état hygrométrique. Or cet état peut varier dans des limites très étendues : on ne peut donc réellement connaître la puissance calorifique du bois à essayer qu'après avoir déterminé, au préalable, la quantité d'eau qu'il contient. A cet effet, on prend un certain poids à l'état de sciure, on le dessèche dans une capsule chauffée au bainmarie et on ne pèse que lorsque le dégagement de vapeur est complètement terminé.

On détermine le pouvoir calorifique soit par la méthode Berthier, qui a été décrite pour la houille (Voir page 37), soit à l'aide du calorimètre Fabre et Silbermann qu'ont employé MM. Scheurer-Kestner et Meunier, soit avec l'obus calorimétrique de M. Mahler.

Voici, d'après les expériences de Berthier, quelles sont, pour certaines essences de bois, les quantités de plomb réduites, et les quantités d'eau vaporisées par kilogramme de divers bois. Il suffit de multiplier par 230 le nombre de kilogrammes de plomb pour avoir la quantité de calories.

NATURE DES BOIS	PLOMB RÉDUIT par kilogramme de bois	EAU ÉVAPORÉE à 100° par kilogramme de bois
Chêne	12,50	5,27
Frêne	14,96	5,97
Sycomore	13,10	5,53
Hêtre	13,70	5,77
Sapin	14,50	6,11
Pin	13,70	5,77
Charme	12,50	5,27
Orme	14,50	6,12
Peuplier	13,04	5,50
Tilleul	14,48	5,11

En général, on peut admettre :

1° Que tous les bois au même état de dessiccation produisent sensiblement la même quantité de chaleur;

2° Que, pour les bois parfaitement desséchés artificiellement, la puissance calorifique est d'environ 4.000 calories, déduction faite de la chaleur latente de l'eau, qui reste dans les produits de la combustion;

3° Que pour les bois, qui renferment à peu près 25 à 30 0/0 d'eau, dans l'état ordinaire de dessiccation, la puissance calorifique varie entre 2.600 et 2.800 calories.

Réception des bois. — Les diverses lignes de chemins de fer russes, brûlant encore du bois, acceptent les essences suivantes : mélèze, tilleul, bouleau, chêne, frêne, orme, pin. On n'admet souvent que 5 0/0 de sapin, d'aune et de tremble au maximum sur l'ensemble de la fourniture, à condition que ces essences soient mises en piles séparément. Certaines Compagnies excluent le tremble, mais admettent le sapin sans restriction.

Le bois doit être sain, de bonne qualité, débarrassé des nœuds et des branches qui empêcheraient de l'entasser en piles compactes. On exclut les bois d'arbres morts sur pied, ainsi que les bois vermoulus, fanés, présentant des traces de pourriture ou dont le cœur est desséché.

Le bois doit avoir été coupé en hiver, c'est-à-dire d'octobre à février, et depuis un an au moins. Le bois peut être demi-sec ou vert, selon les conditions imposées par les commissions de réception.

Certaines lignes, comme les chemins de fer de Finlande, brûlent du pin et du sapin séché à l'air, achetés directement chez les propriétaires de forêts, et le contrat d'achat se fait une année avant la livraison, afin que le fournisseur puisse faire couper le bois à temps, c'est-à-dire l'hiver précédant la livraison.

Les bûches de bois doivent être émondées à ras de leur surface et avoir en général au moins 534 millimètres de longueur et 89 à 111 millimètres de diamètre. Certaines lignes demandent des bûches de 51 à 102 millimètres de diamètre, en tolérant que les bûches fendues aient 152 millimètres de diamètre. Certaines autres admettent les bûches de 305 à 336 millimètres, à condition qu'il y ait au moins 50 0/0 de bûches de 305 millimètres sur la fourniture. Les bûches de plus de 135 millimètres doivent être fendues en deux, et tout le bois ayant plus de 311 millimètres de diamètre doit être fendu en quatre. Exceptionnellement, on exige quelquefois que les bûches de bouleau et de tremble soient fendues en deux, même si elles ont moins de 135 millimètres.

On peut admettre des bois de tremble et autres espèces de bois mince et de coupe récente d'un diamètre de 67 à 69 millimètres; mais, dans ce cas, la quantité de bois mince ne doit pas dépasser 1/10 de la fourniture.

Emploi du bois et de ses dérivés. — Le bois s'emploie directement dans les foyers sans qu'il y ait aucune disposition spéciale pour les grilles. Il n'en est pas de même si, au lieu de bois en rondins, on emploie de la sciure de bois ou des débris végétaux comme la bagasse et la tannée. Nous allons indiquer quelques-uns des systèmes appropriés à la combustion de ces produits.

Sciure de bois. — Pendant longtemps la sciure fut considérée comme ne possédant pas les propriétés nécessaires pour remplacer avantageusement la houille pour le chauffage des appareils destinés à fournir la vapeur.

On fit quelques essais, qui donnèrent de mauvais résultats pour le chauffage des chaudières, vu la forme des foyers et le mode d'introduction du combustible. Toutefois des industriels, dont les usines produisaient de grandes quantités de sciure, de copeaux et de déchets de sciage, tentèrent d'en mélanger une petite quantité au charbon. Il ne faut pas exagérer la proportion de sciure, car le bois brûle beaucoup plus vite que le charbon, laissant sur la grille des trous à tra-

vers lesquels des courants d'air s'établissent, ce qui nuit à la bonne marche du feu. Pour remédier à cet inconvénient, il faut que le chauffeur garnisse plus souvent sa grille, qu'il ouvre aussi souvent son fourneau, engouffrant à chaque fois une quantité d'air froid qui nuit au rendement du générateur.

Le mélange se fait avec du charbon maigre de préférence. Il faut que la cheminée soit très haute ou le tirage très faible pour éviter l'entraînement des flammèches qui pourraient allumer des incendies. On doit autant que possible brûler les copeaux et les débris dans des foyers munis d'une chambre de chauffe spacieuse avec une grille dont on calcule la surface de manière à brûler 180 kilogrammes de bois à l'heure.

Le meilleur est encore d'employer un foyer spécial, tel que les suivants.

Foyers à sciure de bois. — Le four (*fig.* 124), qui est installé sur un radier général en béton de $0^m,35$, comprend trois parties : la

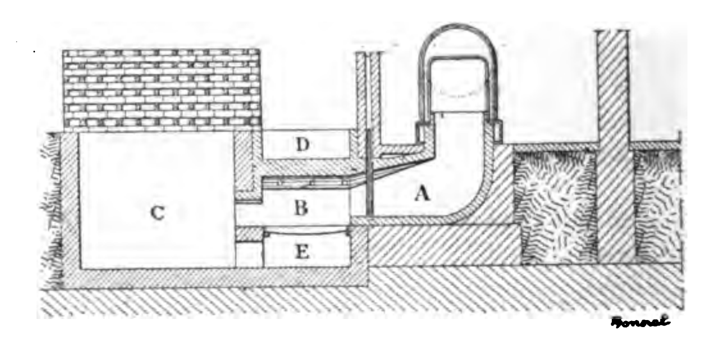


Fig. 124. — Four à sciure de bois.

chambre de visite A, le foyer proprement dit B et le carnau C. Le tout est enterré à une profondeur de $1^m,60$ environ, mesurée du sol de la salle à la surface supérieure du radier.

Le foyer proprement dit se compose d'une fosse voûtée de $1^m,10$ de longueur sur $1^m,35$ de largeur et $1^m,20$ de hauteur sous clef. La flèche de la voûte est de $0^m,15$. Une grille placée à $0^m,35$ au-dessus du radier, sépare la fosse en deux dans le sens de la hauteur ; la partie inférieure constitue le cendrier E, et la partie supérieure forme la chambre de combustion.

La grille est composée de 35 barreaux en fonte représentés sur la

figure 125; leur épaisseur est de 24 millimètres, et ils sont séparés par un intervalle de 14 millimètres ; leur écartement est assuré par trois renforts venus de fonte aux extrémités et au milieu de chaque barreau.

Les quatre manettes du foyer sont surélevées de 20 centimètres au-dessus du sol de la salle. Elles dessinent une grande cuve D dont le fond est formé par l'extrados de la voûte de la chambre de combustion. C'est ce qui constitue la trémie de chargement du four où le chauffeur dépose la sciure à incinérer. Le chargement s'opère de lui-même par dix trous de la dimension d'une brique ménagés dans l'épaisseur de la voûte contre les parois de la chambre de combustion.

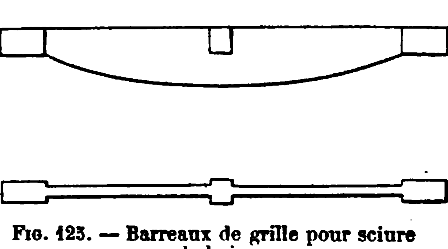


Fig. 125. — Barreaux de grille pour sciure de bois.

La chambre de visite est formée par le prolongement des manettes du four. Située en avant du four, elle a 2^{m},10 de longueur sur 1^{m},35 de largeur. Elle permet au chauffeur de surveiller le feu et sert à retirer les cendres, lorsque le besoin s'en fait sentir. On y accède au moyen d'un escalier, disposé le long du four. Un châssis de foyer en fonte, scellé verticalement contre la murette qui limite la chambre de combustion, contient deux portes : l'une placée à la hauteur du radier, donne accès au cendrier ; l'autre au niveau de la grille, permet de regarder le feu en cas de besoin. Une petite balustrade de 0^{m},50 de hauteur, établie tout autour de la chambre de visite, empêche les ouvriers d'y tomber par accident.

La conduite du feu est très simple. La sciure apportée dans des sacs est vidée par le chauffeur dans la trémie de chargement ; elle coule par les ouvertures de la voûte et tombe en tas sur la grille. On allume avec quelques débris de bois et des copeaux ; on laisse la porte du foyer entr'ouverte en permanence pour faciliter la combustion. Le chauffeur n'a qu'à égaliser de temps en temps la masse incandescente avec un ringard, quand le sommet de cette masse va atteindre la voûte ; il doit veiller aussi à ce que la trémie ne se bouche pas.

On brûle, en marche normale, environ 300 kilogrammes de sciure à l'heure, soit 200 kilogrammes par mètre carré de grille, sa surface étant de 1^{m2}, 48. Des essais de vaporisation ont accusé

une production de vapeur supérieure à 3 kilogrammes par kilogramme de sciure brûlée. On compte qu'un pareil foyer coûte environ 2.000 francs.

Il existe d'autres modèles de foyers spéciaux pour brûler la sciure de bois. Dans le foyer Shepherd et Stevenson, la sciure et les copeaux chargés au moyen d'une trémie tombent dans un foyer réfractaire avec grille à 45° alimentée largement d'air par les canaux inférieurs en terre réfractaire.

Pour l'utilisation des déchets de scieries qui sont composés de sciures, de copeaux, de morceaux de petite dimension provenant de bois plus ou moins durs, d'une humidité moyenne, la Société Babcok et Wilcox installe des foyers comprenant trois parties :

1° Une trémie de chargement dont le niveau correspond avec le niveau du sol où se fait le dépôt des déchets provenant de la fabrication : les déchets déposés sur le sol, en face de la trémie, peuvent ainsi être poussés facilement dans cette trémie qui, en basculant, les déverse sur la plaque morte de la grille inclinée ;

2° Une grille inclinée composée de barreaux plats formant gradins et reposant sur des sommiers latéraux à encoches, grille sur laquelle s'effectue la descente du combustible en même temps que sa combustion progressive ;

3° Une grille horizontale à la partie extrême de la grille inclinée ; cette grille horizontale est munie de barreaux carrés facilement amovibles, ce qui facilite le décrassage.

Il convient, pour la bonne marche de ces sortes de grilles, plus encore peut-être que pour les foyers chargés au charbon, d'assurer un bon tirage au moyen d'une cheminée convenablement proportionnée en hauteur et en section, pour tenir compte du volume du gaz assez important résultant de la combustion de ces déchets.

Alimentation des foyers à sciure de bois. — Pour alimenter automatiquement les foyers à sciure de bois, on peut employer un ventilateur centrifuge aspirant et foulant. Le ventilateur aura $1^m,50$ de diamètre avec doubles conduites d'aspiration et de refoulement de $0^m,55$ chacune, se réunissant en une conduite unique de $0^m,75$.

Les conduites d'aspiration sont munies de trémies où la sciure se dépose automatiquement.

Le courant refoulé est dirigé vers un bâtiment isolé surmonté d'un appareil séparateur consistant en un cône creux renversé dont la base présente une large ouverture. Les poussières et

les copeaux amenés par le courant sont animés d'un mouvement de rotation qui les précipite vers le sommet du cône, tandis que l'air s'échappe par l'orifice.

Une valve inférieure permet soit de diriger les matières vers le bâtiment des générateurs, soit de les faire simplement tomber dans le bâtiment du séparateur. Comme l'évacuation de l'air ne laisserait plus une pression suffisante pour le transport aux générateurs, le dessous du séparateur est mis en communication, par une conduite auxiliaire, avec la conduite principale.

Les conduites d'alimentation des chaudières sont reliées à une coulotte terminée par une cloison perforée qu'on adapte sur les foyers. Cette coulotte repose sur un bâti mobile; une trémie permet d'inspecter le courant de sciure et de copeaux, et de verser, au besoin, un supplément de sciure quand l'alimentation automatique est trop faible. Une vanne placée dans le foyer, au débouché de la coulotte, sert à diriger le courant et à empêcher que la projection des matières ne se fasse trop loin.

Le chauffeur règle la valve du séparateur, de manière à obtenir l'alimentation dont il a besoin ; il dispose également d'une valve sur la conduite principale pour régler l'air. Ce volume doit être aussi faible que possible, l'air nécessaire à la combustion devant être principalement fourni par l'appel à travers l'intervalle des barreaux de grille.

Briquettes de sciure de bois. — Certaines scieries mécaniques, comme la scierie Fralla, en Autriche, fabriquent des briquettes avec des sciures de bois. La sciure est chauffée à sec, jusqu'à ce que les éléments goudronneux qui doivent servir de matière agglomérante soient au moment de se séparer, puis elle passe sur des plaques de fer chauffées à la vapeur, et, par la rotation de palettes destinées à la propulsion, arrive dans une trémie qui la conduit à la presse servant à faire les briquettes. Celles-ci pèsent 200 grammes et donnent 4 0/0 de cendres ; elles mesurent 130 sur 30 et 67 millimètres ; leur pouvoir calorifique équivaut à celui du lignite.

La presse fait 19 briquettes par minute, ce qui représente, à raison de 300 jours de travail par an, uue production annuelle de 6 millions de briquettes.

Le prix de revient est de 80 centimes le mille, et le prix de vente de 5 francs, d'où un bénéfice de 25.000 francs par an environ.

A Fagersta, en Suède, on utilise le goudron provenant des gazogènes, comme matière agglutinante, dans la fabrication de bri-

quettes avec la sciure de bois, qui y entre dans la proportion de 87 0/0.

La pâte formée de ce mélange passe dans une presse, et elle en sort en lames de 44 millimètres d'épaisseur, qu'on laisse exposées à l'air sur le sol, pendant plusieurs semaines, afin de faire évaporer l'eau contenue dans le goudron.

Ce combustible est appliqué avec succès dans les foyers des chaudières à vapeur ; il brûle parfaitement, et son pouvoir de vaporisation approche de celui du charbon, 1 mètre cube de briquettes équivalant à $0^{m},76$ de charbon.

Tannée. — Lorsque le tan a été épuisé, il contient une partie ligneuse qui peut servir de combustible dans un grand nombre de cas.

En général, pour employer le tan à cet usage, on le comprime encore humide dans des moules en fer, qui le transforment en mottes ; ces mottes sont ensuite séchées à l'air libre ; elles brûlent lentement et donnent beaucoup de cendres.

On peut admettre que la matière organique du tan épuisé présente à peu de chose près la composition du bois, ce qui donnerait pour la tannée les chiffres suivants pour deux échantillons, différents d'ailleurs, l'un sec et l'autre encore humide :

	APRÈS SÉCHAGE	AVANT SÉCHAGE
Carbone	46,9	18,1
Hydrogène	5,6	2,4
Oxygène	39,5	14,0
Cendres	8,0	1,2
Eau	»	64,3

La puissance calorifique de la tannée après séchage serait d'environ 4.000 calories. Or, celle sortant des fosses contient au moins 70 0/0 d'eau. A 61 0/0 d'humidité, la tannée a un pouvoir calorifique de 1.990 calories, ce qui correspond à une vaporisation de 2 kilogrammes d'eau par kilogramme de tannée. Industriellement, on ne l'emploie qu'après dessiccation à l'air libre ou après l'avoir essorée par son passage à travers une presse-laminoir, qui nécessite pour sa manœuvre une force de 3 chevaux environ. On arrive ainsi à enlever environ 50 0/0 de l'eau primitivement contenue. On voit donc

que ce ne peut être jamais qu'un combustible fort médiocre, intéressant seulement à employer dans certains cas spéciaux, et dont l'emploi nécessite des foyers particuliers.

Foyer Godillot. — Le foyer que représente la figure 126 est dû à M. Godillot. Il peut brûler la tannée telle qu'elle sort des fosses à jus.

La grille de M. Godillot, qui est de forme spéciale (grille-pavil-

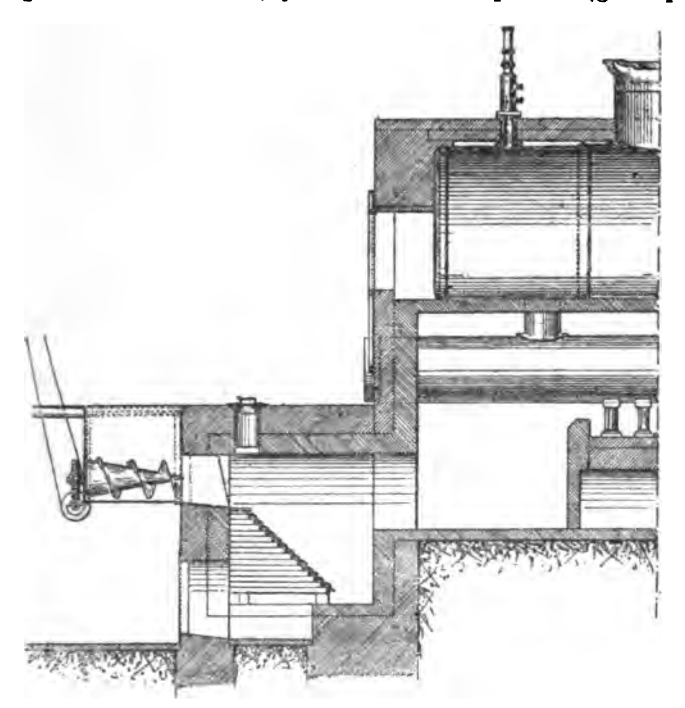


Fig. 126. — Foyer Godillot.

lon), comporte un demi-cône posé sur une grille horizontale en forme de fer à cheval.

Le combustible, emmagasiné dans la trémie et poussé par l'hélice dans le foyer, arrive au sommet du pavillon; il se dessèche, puis descend sur la pente de la grille papillon au fur et à mesure que celui qui est au-dessous lui fait la place; il brûle, et finalement arrive sur la grille horizontale où les cendres s'accumulent.

Pour diminuer les pertes de chaleur par les parois du fourneau, on établit autour de la maçonnerie une circulation d'air : c'est une sorte de calorifère dont l'air chaud est amené dans le cendrier ; tout

l'air nécessaire à la combustion passe par ce calorifère et se trouve ainsi réaliser un élément comburant plus favorable.

D'après l'inventeur, la grille demi-conique présente l'avantage, sur une grille inclinée, de permettre l'introduction du combustible en un seul point, par un orifice restreint; d'un autre côté, cette disposition a l'avantage de donner par l'évasement du cône à sa partie inférieure, au combustible qui descend, une place d'autant plus grande que les phases de la combustion sont plus avancées, ce qui permet à la matière de brûler dans des conditions plus parfaites.

Le foyer est muni d'un appareil de chargement mécanique. C'est une vis sans fin, à laquelle un mouvement de rotation est communiqué par une transmission intermédiaire portant deux cônes destinés à donner à la vis une allure plus ou moins accélérée. On peut ainsi augmenter ou diminuer la rapidité de distribution du combustible et faire varier à volonté la conduite du feu que l'on surveille par un regard pratiqué sur le devant du fourneau, et qui sert également pour le nettoyage.

En employant la tannée seule, la chaudière ne donne pas plus de 3 kilogrammes de vapeur par mètre carré de surface de chauffe et par heure. Il est donc avantageux d'additionner la tannée d'une petite quantité de charbon dans la proportion de 10 0/0.

Supposons dans cette hypothèse une chaudière destinée à alimenter une machine de 20 chevaux et dépensant $13^{kg},500$ de vapeur par cheval-heure ; il faut :

$$20 \times 13,5 = 270 \text{ kilogrammes}$$

de vapeur par heure.

Si l'on conduit la chaudière de manière à produire 10 kilogrammes de vapeur par mètre carré de surface de chauffe, la surface de chauffe nécessaire sera donc :

$$\frac{270}{10} = 27 \text{ mètres carrés.}$$

Puisque 1 kilogramme de combustible mélangé vaporise $1^{kg},500$ d'eau dans la chaudière, la quantité de combustible à brûler par heure sera donc de :

$$\frac{270}{1,5} = 180 \text{ kilogrammes}$$

se décomposant comme suit : 18 kilogrammes de charbon et 162 kilogrammes de tannée, ce qui fait $1^{kg},200$ de charbon et $10^{kg},800$ de tannée par cheval et par heure.

Le prix de revient de l'installation est plus élevé que celui d'un foyer ordinaire ; mais, comme les frais d'installation peuvent être amortis très rapidement, grâce aux économies réalisées sur le combustible, l'adoption du système est avantageuse pour les industriels qui l'emploient.

Le prix de revient d'un foyer à tannée pour une chaudière à bouilleurs de 20 mètres carrés prise à pied d'œuvre se décompose comme suit :

Pose de la chaudière sur ses supports et de tous les accessoires métalliques du foyer complet à 35 francs les 1.000 kilogrammes : $3.000 \times 0,35 =$	105 fr. 00
Prix du fourneau en briques et en mortier de chaux, avec revêtement de briques réfractaires sur toutes les surfaces en contact avec les flammes et les gaz les plus chauds, à 55 francs le mètre cube, vides déduits : $12,500 \times 55 =$	687 fr. 50
Accessoires métalliques du fourneau, autres que les supports des bouilleurs, plaques de couches et registres, c'est-à-dire les grilles et leurs sommiers, les portes de regard et de cendrier, l'appareil de chargement complet, y compris les deux cônes :	1100 fr. 00
TOTAL............	1892 fr. 50

Le foyer Godillot permet de brûler non seulement la tannée, mais aussi la sciure de bois, les copeaux, les déchets de lin et tous les combustibles pauvres. Les déchets de lin ne seront pas employés seuls, à cause de leur grande inflammabilité ; on les mélangera avec du charbon.

Bagasse. — La bagasse, ou résidu de la canne à sucre, contient une fibre ligneuse qui la rend analogue au bois ; de sorte que, dans les Indes occidentales, dans la Guyane anglaise, dans tous les pays producteurs de canne, on l'utilise comme combustible, et on a construit, à cet effet, de nombreux fours qu'on perfectionne tous les jours.

Dans les anciens fours à bagasse, on n'utilisait pas l'eau contenue dans ce résidu, et on la laissait s'échapper sous forme de vapeur par la cheminée ; dans certains cas, on faisait même sécher la bagasse

au soleil ou sous des hangars, de manière à lui faire perdre son eau avant de la mettre au four.

Cependant, en attribuant à la bagasse la composition : 50 de fibre ligneuse pour 50 d'eau, on trouve par l'analyse que ces deux éléments contiennent :

Fibre ligneuse....................	25,00 de carbone; 2,78 d'hydrogène; 22,22 d'oxygène;
Eau en suspension................	5,56 d'hydrogène; 44,44 d'oxygène.

Avec la formule de combustion du carbone :

$$C + 2O = CO^2,$$

il faut 16 d'oxygène pour 6 de carbone ; donc, pour les 25 de carbone contenus dans la bagasse, il faudrait environ 64 d'oxygène ; or la bagasse en contient :

$$22,22 + 44,44 = 66,66$$

à condition que l'eau, sous forme de vapeur, se trouve décomposée dans son passage sur le carbone incandescent et poreux. Il y a formation d'acide carbonique, grâce à ce supplément d'oxygène, et l'hydrogène s'échappe, soit libre, soit sous forme de carbure. Ce dernier, d'ailleurs, en présence d'une quantité suffisante d'oxygène et à la température élevée du four, doit subir une nouvelle combustion et se transformer en acide carbonique et en eau. Il y a donc intérêt à brûler l'eau de la bagasse.

Foyer Fryer. — La figure 127 montre le foyer Alfred Fryer, adopté avec succès dans la Guyane anglaise. La grille D est inclinée, sa partie la plus basse se trouvant à l'avant du four ; la bagasse est introduite par l'ouverture A ; elle tombe sur un plan incliné et s'en va vers la grille où elle est brûlée ; les flammes remontent vers les chaudières C et passent à travers la bagasse restée dans son chemin.

Foyer Abell. — Dans les fours (*fig.* 128) de M. William Price Abell, l'air nécessaire à la combustion est chauffé latéralement. Il passe le long du foyer, puis à la partie supérieure des chaudières et vient déboucher dans le cendrier, comme l'indiquent les flèches de

la figure. On admet ainsi l'air à une température de 540° environ. La bagasse est distribuée le plus régulièrement possible. Il est nécessaire de bien régler les proportions pour avoir une combustion parfaite.

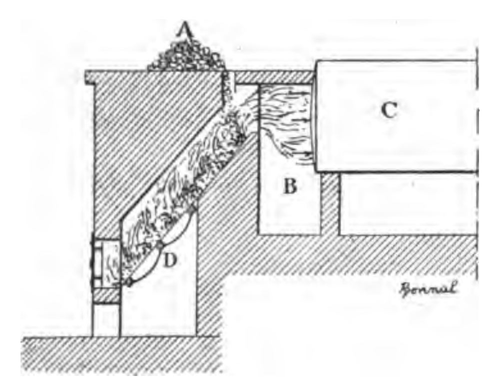


Fig. 127. — Foyer à bagasse système Fryer.

On a ajouté des dispositifs d'alimentation automatiques, comme pour la sciure de bois, dans le but de réduire la main-d'œuvre. Mais la réduction de main-d'œuvre doit surtout porter sur l'opération du séchage.

Foyers de la Réunion. — Autrefois on faisait sécher les bagasses au soleil, sur de vastes aires, avant de les introduire dans les foyers ;

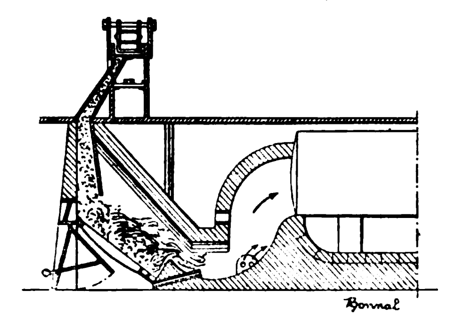


Fig. 128. — Foyer à bagasse système Price Abell.

il en résultait une manutention coûteuse, et, de plus, pendant la saison des pluies, on n'arrivait pas à sécher les bagasses, ce qui entravait la marche des usines.

Il existe aujourd'hui des fours fonctionnant à la bagasse verte qui

utilisent les déchets de cannes, au sortir des moulins, sans aucun séchage. Et nous avons dit précédemment que cela valait mieux au point de vue de la combustion.

Depuis longtemps, M. Dolobaratz, directeur du Crédit Foncier Colonial à la Réunion, a fait installer dans ses usines des fours à bagasse verte à grilles mobiles qui donnent de bons résultats. Nous citerons aussi le four inventé par M. Colson, appliqué aux établissements sucriers du Gol, à Saint-Louis (Réunion), qui se rapproche de beaucoup de celui de M. Dolobaratz.

Le four V a $3^m,50$ sur $3^m,70$; sa voûte est demi-circulaire, et la

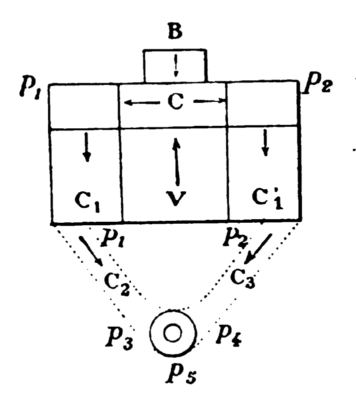


Fig. 129. — Schéma d'une installation faite à la Réunion pour brûler la bagasse.

clef de voûte est à $3^m,48$ au-dessus de la grille. Le four complémentaire à bois B a 1 sur $1^m,50$ et $1^m,98$ à la clef de sa voûte demi-circulaire. Les deux fours ont même axe et sont séparés par un carnau C perpendiculaire à cet axe, allant directement à droite et à gauche en dessous et à l'avant de chaque générateur C_1 et C'_1. Le carnau C est séparé des fours par des autels élevés d'environ $0^m,60$ au-dessus des grilles, et son fond est en contre-bas de celles-ci de manière à produire un bon brassage des flammes et des gaz. La bagasse, amenée par un transporteur, tombe dans le four à sa partie supérieure par deux trémies. Les portes p_1 et p_2, qui servent au décrassage, ont juste la largeur suffisante pour laisser passer les scories, car il faut se garer du rayonnement intense de la voûte. Les scories sont abondantes, et il faut nettoyer les carnaux au moins tous les deux jours. Le nettoyage des grilles des fours B et V doit se

faire deux fois par vingt-quatre heures au moins, sans interrompre d'ailleurs la marche de l'usine.

Le four V a 9^{m2},10 de surface de chauffe, et le four B, 1^{m2},50 ; on compte que, par tonne de canne travaillée à l'heure, il faut 0^{m2},50 de surface de grille.

Primitivement, on brûlait en moyenne 41 kilogrammes de bois et 30 kilogrammes de paille par tonne de canne traitée. La bagasse était ramenée par le séchage de 55 0/0 d'eau à 25 ou à 35 0/0, suivant les conditions de l'atmosphère.

Actuellement, on brûle toute la bagasse verte et de 25 à 30 kilogrammes de bois de lilas coupé depuis deux mois par tonne de canne; on laisse ainsi la paille dans les champs, et on économise la main-d'œuvre nécessaire pour le séchage de la bagasse, tout en n'étant plus à la merci de la pluie.

L'économie de main-d'œuvre est considérable, car les nouveaux fours n'emploient pour six générateurs, grâce à leur bon fonctionnement et aux transporteurs à bagasse, que cinq hommes, y compris le chef chauffeur chargé de l'alimentation. Auparavant, on employait 26 hommes, 8 femmes et 9 mules.

Pour obtenir une bonne combustion de la bagasse verte, il faut avoir la plus grande surface possible de voûte rayonnante dans le four à bagasses vertes, réaliser un tirage très énergique, bien brasser les flammes et les gaz avant leur arrivée aux générateurs, enfin disposer d'un four supplémentaire pour brûler du bois ou de la paille.

Foyers divers. — Le foyer à bagasse Rosenthal, en briques réfractaires et à grille à gradins inclinés, est alimenté par une trémie à porte automatique recevant l'air chaud par les trous d'une enveloppe.

Il existe deux autres entrées d'air réglées par des registres. Les gaz du foyer passent dans la chambre de combustion, puis autour des tubes de la chaudière et au réchauffeur, où l'air à chauffer est soufflé par un ventilateur.

Au lieu de bagasse, on peut aussi brûler de la paille. Dans le foyer à paille Conner, la paille est introduite par un auvent à déflecteur moins large que le foyer qui permet l'accès de l'air sur ses côtés. L'air arrive par le dessous de la grille et au fond du foyer par une ouverture spéciale. Les gaz passent ensuite au-dessus d'une plaque qui achève de les brasser avant leur arrivée sous les tubes, et qui

est formée de plaquettes à charnières pouvant se relever pour le nettoyage des tubes.

La bagasse se trouve placée à peu près dans les mêmes conditions que les déchets de bois; mais ce qui la différencie surtout des déchets de scieries ou d'ateliers pour le travail du bois de toutes natures, c'est qu'elle contient une plus grande proportion d'humidité, même après qu'elle a été partiellement séchée au soleil.

De cette condition particulière résulte la nécessité d'assurer dans une sorte de foyer gazogène la distillation de l'eau interposée, et c'est pour cette raison qu'au lieu de placer la grille directement au-dessus du faisceau tubulaire, on a été conduit dans le foyer Babcok et Wilcox à reporter cette grille à l'avant de la chaudière et à la placer dans une sorte de four en parois réfractaires, qui, par leur température et leur rayonnement direct, permettent d'obtenir presque simultanément la dessiccation rapide par la distillation et la combustion de la bagasse.

On a cherché, à Cuba principalement, des systèmes de fours permettant la combustion directe de très grandes quantités de bagasses, sans aucun séchage préalable ; dans ce but, on a réalisé un four très connu à Cuba sous le nom de four *Cook* et dont les résultats ont été particulièrement satisfaisants, mais qui ne s'applique pas d'une manière aussi générale que le précédent, à cause de son prix d'établissement excessivement élevé, et qui ne justifie son emploi que lorsque, pour un même four, on peut installer de chaque côté de ce four une chaudière d'au moins 300 à 400 mètres de surface de chauffe.

En thèse générale la bagasse brûle le mieux quand elle est en fibres et si elle est sèche. L'allure du foyer est rapide, c'est la meilleure allure. La bagasse peut être broyée avant combustion, mais, si elle est trop menue, elle a tendance à prendre facilement l'humidité. Il faudra introduire d'autant plus d'air pour la combustion que la bagasse est moins sèche.

Un bon foyer brûlera 1 kilogramme de bagasse pour vaporiser 3 litres et demi d'eau.

CHAPITRE XV

CHARBON DE BOIS

Carbonisation du bois. — Influence de la température. — Influence de la nature du bois. — Influence de la rapidité de la carbonisation. — Généralités sur la carbonisation. — *Carbonisation par combustion partielle.* — Meules verticales. — Meules horizontales. — Rendement des meules. — Récupération des sous-produits. — Carbonisation en fours. — Carbonisation en vases clos.

Carbonisation du bois. — Le charbon de bois est le résidu fixe de la distillation du bois ou de sa combustion incomplète.

Le poids d'un mètre cube de charbon de bois varie comme suit, d'après les essences :

Chêne et hêtre ordinaire.....	240 à 250	kilogrammes
Bouleau....................	220 à 230	—
Pin........................	200 à 210	—
Sapin, châtaignier domestique	130 à 150	—

On peut admettre que la puissance calorifique du charbon de bois fabriqué dans les forêts est les 0, 85 environ de celle du carbone pur, soit :

$$8080 \times 0,85 = 6868.$$

On admet 7.000 pour la puissance calorifique des charbons de bois ordinaires, contenant 6 à 7 0/0 d'eau et de 6 à 7 0/0 de cendres.

Séché à l'air, le charbon de bois présente la composition moyenne suivante :

Carbone................................	38,5
Eau combinée...........................	35,5
Cendres................................	1,0
Eau libre..............................	25,0
	100,0

Le bois donnerait donc 38,5 de carbone, si l'on pouvait le décomposer en eau et carbone, sous l'action de la chaleur. Pendant cette opéra-

tion, il se produit forcément divers corps contenant du carbone, tels que de l'hydrogène carboné, de l'oxyde de carbone, du goudron, de l'acide acétique.

La nature du bois, la température et la durée de la carbonisation font varier dans des limites étendues la quantité et la qualité du charbon obtenu par la carbonisation du bois.

Influence de la température. — Quand on soumet le bois pendant un temps donné, à des températures croissantes de 200° à 1.600°, on obtient un résidu dont le poids diminue constamment et qui a une composition très variable.

A la température de 200°, le résidu obtenu présente encore à peu près la composition du bois ; vers 300°, plus de la moitié des éléments volatils qu'il renfermait à 200° ont disparu, et l'on a du *charbon roux* dont l'emploi est limité à la fabrication des explosifs. Entre 400° et 1.000°, la composition du résidu demeure sensiblement constante; c'est celle que présente le *charbon noir* ou charbon de bois ordinaire.

La composition du charbon de bois est donc variable avec la température de la carbonisation.

Le charbon obtenu	à 250°	contient	65 0/0	de carbone
—	à 300°	—	73	—
—	à 400°	—	80	—
—	à 1500°	—	96	—

Sans parler des matières que renferme toujours le charbon de bois, il est impossible d'obtenir du carbone pur par la carbonisation du bois. Le charbon contient toujours des produits, comme l'hydrogène et l'oxygène, que la chaleur ne peut chasser complètement. La quantité de ces produits est d'autant moindre que la température de la carbonisation a été plus élevée.

Elle varie de $\frac{1}{2}$ à 250° à $\frac{1}{20}$ à 400°.

La densité du charbon, qui est de 1,002 pour le charbon préparé à 300°, atteint 2,00 pour le charbon obtenu vers 1.550°.

Les charbons d'un même bois, préparés à des températures croissantes, prennent feu à l'air à des températures de plus en plus élevées :

Les charbons obtenus	entre 260° et 280°	prennent feu à l'air	de 340° à 360°
	— 290° et 350°		de 360° à 370°
	à 400° environ		vers 400°
	entre 1000° et 1500°		de 600° à 800°

Ces derniers charbons sont d'une combustion difficile.

Le charbon de bois exposé à l'air absorbe de l'eau en quantité d'autant plus grande que la température de carbonisation a été plus basse (21 0/0 à 150°; 4 0/0 à 450°).

Influence de la nature du bois. — Les diverses essences de bois carbonisées à la même température ne donnent pas la même quantité de charbon; les bois les plus durs, tels que le buis, le chêne, fournissent une quantité de charbon plus considérable que les bois légers.

Le tableau suivant indique la quantité de charbon obtenue en carbonisant, à 300°, 100 parties de bois desséché à 150°.

Essences de bois.	Quantité de charbon obtenue.
Orme	46,99
Gaïac	41,86
Buis	40,44
Frêne	38,28
Chêne	34,60
Charme	34,44
Bouleau	34,17
Érable	33,75
Bourdaine	33,61
Cornouiller	33,36

Sur 72 variétés ainsi traitées, on a trouvé 54 0/0 comme poids maximum de charbon et 30 0/0 comme poids minimum.

Chaque essence carbonisée à une même température donne un charbon dont la composition varie d'une essence à l'autre, comme l'indique le tableau suivant, les différences atteignant jusqu'à 15 0/0.

BOIS SOUMIS A LA CARBONISATION	COMPOSITION POUR 100 PARTIES EN POIDS			
	C	H	O + Az	Cendres
Bourdaine	73,24	4,25	21,96	0,55
Bouleau	71,15	4,55	23,55	0,75
Buis	70,50	3,75	25,10	0,65
Frêne	70,40	4,55	24,37	0,68
Érable	70,05	4,60	24,90	0,45
Cornouiller	69,05	3,85	26,49	0,61
Charme	68,85	4,15	26,38	0,62
Peuplier	68,75	4,85	25,54	0,86
Houx	68,50	4,75	25,89	0,86
Tremble	68,15	5,50	25,73	0,62
Chêne	67,42	4,10	28,48	0,20
Orme	66,85	4,67	28,18	0,30

Influence de la rapidité de la carbonisation. — La carbonisation donne un rendement en charbon très variable, suivant la vitesse avec laquelle on la conduit.

On peut chauffer progressivement le bois de manière à atteindre peu à peu la température maximum à laquelle on doit le porter ou bien l'introduire dans des fours chauffés à cette température maximum qu'on maintient pendant tout le temps que dure la carbonisation. On obtient, suivant la méthode employée, des résultats très différents.

Avec du bois de bourdaine carbonisé rapidement, on n'obtient que 9 0/0 de charbon, tandis que le même bois donne le double de charbon, si l'on conduit l'opération lentement; le charbon a une composition à peu près identique dans les deux cas.

On a obtenu les rendements suivants en opérant sur onze essences différentes.

	Minimum	Maximum	Moyenne
Par carbonisation rapide...	12,2	16,5	14,4 0/0
Par carbonisation lente....	24,6	27,7	25,6 0/0

Quand on opère à haute température, les produits volatils sont éliminés complètement; ils peuvent réagir alors sur le charbon et donner naissance à des composés riches en carbone; si l'on chauffe à basse température, ces produits fortement carburés ne peuvent se former parce que, si l'on décompose lentement le bois, les produits volatils sont expulsés entre 200° et 300°.

Si l'on décompose le bois à température élevée, l'eau contenue est décomposée par le charbon en donnant de l'oxyde de carbone et de l'hydrogène. Le bois laisse dégager, d'autre part, de l'acide carbonique qui se transforme en oxyde de carbone en passant sur du charbon à température élevée.

On voit, en résumé, que la marche de la carbonisation est essentiellement une question de température. Lorsque la combustion est lente, les produits de la décomposition, volatils à 300°, sont déjà éliminés, quand la température atteint 400°; ceux qui se forment alors disparaissent également avant qu'on soit arrivé à la chaleur rouge. Dans la combustion vive, au contraire, la chaleur rouge peut agir sur le bois lui-même non encore décomposé, ou, tout au moins, sur des charbons roux formés à 300° et 400°. La décomposition du bois ou des charbons roux s'opère donc, dans ce dernier cas, à une température beaucoup plus forte que dans le premier cas. Comme d'ail-

leurs une température élevée diminue l'affinité du carbone pour les éléments volatils, elle chasse la majeure partie de ces derniers, et le poids du résidu fixe diminue d'autant.

Généralités sur la carbonisation. — Il en résulte, au point de vue de la fabrication du charbon, cette règle, qu'on doit effectuer la carbonisation très lentement et à une température aussi basse que possible. Il importe également, quand on travaille sur de grandes quantités, de tenir compte de la manière dont se comporte le charbon de bois en présence des produits de la décomposition. Si l'on dirige sur du charbon au rouge de l'acide carbonique, ce gaz s'empare d'une proportion de carbone égale à celle qu'il renfermait déjà et passe à l'état d'oxyde de carbone. La vapeur d'eau se décompose de même en présence du charbon, et donne de l'oxyde de carbone et de l'hydrogène libre. Si donc les produits gazeux de la décomposition, contenant de l'eau, passent sur le charbon déjà préparé et encore rouge, il en résulte inévitablement une perte importante de carbone.

D'un autre côté, l'eau que renferme le bois, ou qui prend naissance dans la carbonisation, contribue, pour sa part, à réduire la chaleur de combustion. Elle exige, en effet, pour arriver à la même température, quatre fois plus de chaleur que les autres gaz de la combustion, ou, ce qui revient au même, elle ne prend, toutes conditions égales d'ailleurs, qu'une température quatre fois moins élevée.

Le résidu ou charbon de bois ne contient plus effectivement que 8 à 9 0/0 et même moins d'hydrogène et d'oxygène; mais, pour en arriver là, on a dû se résigner à ne recueillir, sur les 43 0/0 de carbone du bois, que 22 0/0 environ à l'état de charbon. Les 21 0/0 qui forment la différence, c'est-à-dire près de la moitié, sont complètement perdus. Or, l'élimination des dernières parties d'hydrogène et d'oxygène entraîne une perte de matière hors de proportion avec le résultat. En d'autres termes, à partir d'un certain point, on ne gagne que très peu comme puissance calorifique, et l'on perd beaucoup sur le rendement en charbon.

On recueille par la carbonisation des éléments gazeux, comme l'acide carbonique, l'oxyde de carbone, le formène, l'hydrogène, l'acétylène, l'éthylène et les éléments condensables qui, recueillis, se séparent en deux couches : l'une inférieure, formée d'eau tenant en dissolution de l'acide acétique et quelques-uns de ses homologues : acide propionique, acide butyrique, acétone, alcool méthylique,

éther méthyl-acétique. La couche supérieure huileuse, colorée en jaune ou en brun constitue le *goudron de bois*, qui contient plusieurs corps : paraffine, naphtaline, benzine, styrolène, phénols, créosote.

Lorsque le bois brûle, ces différents corps, en se volatilisant, donnent lieu à une absorption de chaleur surtout sensible pour l'eau hygrométrique (environ 30 0/0) et pour l'eau à laquelle donne naissance la combustion de la substance ligneuse. Le charbon est donc susceptible de donner en brûlant une chaleur plus élevée que le bois qui contient trop d'éléments volatils.

On distingue deux modes de carbonisation, la carbonisation par combustion partielle ou procédé des forêts et la carbonisation en vases clos ou par distillation.

Carbonisation par combustion partielle. — On a souvent avantage à transformer le bois en charbon dans les forêts même où ce bois a été abattu, afin de réduire la dépense de transport, et d'utiliser les matériaux qu'on trouve sur place.

On carbonise le bois en tas ou en meules qu'on recouvre d'un revêtement en terre pour éviter tout excès d'air au contact du bois en ignition et pour régulariser la carbonisation. Comme ce revêtement se déforme au fur et à mesure des progrès de la combustion, le volume de la meule diminue d'un bon tiers environ.

Dans les meules, les bois sont disposés soit verticalement, soit horizontalement. Cette dernière disposition convient dans les pays où le bois est abondant et où l'on trouve des bois réguliers sur une grande longueur. Elle présente l'avantage de réduire la main-d'œuvre et les difficultés de la conduite du feu. Dans les pays où le bois est rare, on ne transforme en charbon que les morceaux de bois irréguliers qui ne peuvent être employés à un autre usage; on trouve plus avantageux de les disposer verticalement en les empilant de façon à donner aux meules la forme d'une demi-sphère ou d'un paraboloïde, forme qui fournit pour une surface extérieure donnée le plus grand volume possible.

L'emplacement des meules doit être choisi de façon à faciliter et à diminuer autant que possible le transport du bois de la forêt aux meules, et du charbon aux lieux de consommation. Le sol sur lequel sont établies les meules doit être à l'abri de l'humidité et du vent. On enlève le gazon qui le recouvre, on nivelle la surface du terrain et l'on dispose au-dessus une couche de 30 centimètres environ de terre

mélangée de poussière de charbon, ou fraisil, provenant des opérations précédentes. On tasse cette couche avec soin.

La carbonisation marche mal par les temps de vent violent ou de pluie; par conséquent, on l'interrompt pendant la saison pluvieuse, et elle ne peut s'effectuer avantageusement que pendant le printemps et l'été, de mai à octobre.

Meules verticales. — Pour construire ces meules, on prépare une aire circulaire un peu inclinée du centre vers la circonférence, et l'on enfonce au centre trois ou quatre pieux *a* (*fig.* 130) de 4 à 6 mètres de longueur, que l'on entoure de branchages, pour constituer une cheminée de $0^m,30$ environ de diamètre. On remplit cette cheminée de fumerons, morceaux de bois en partie carbonisés provenant d'opéra-

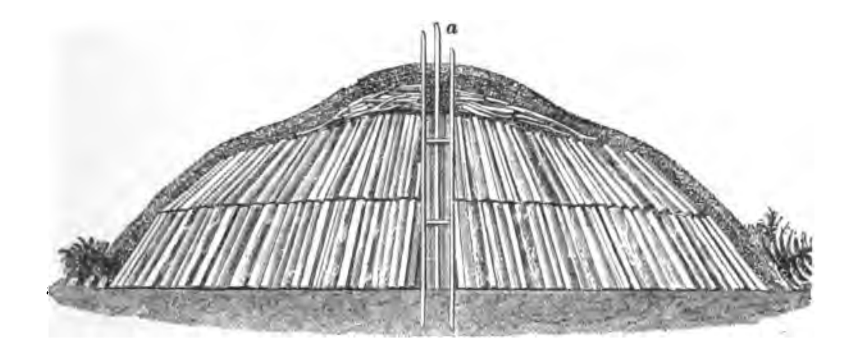


Fig. 130. — Meule verticale pour la carbonisation du bois.

tions précédentes. Autour de la cheminée on range le bois verticalement, de façon que l'axe de chaque bûche se trouve dans un plan vertical passant par l'axe de la meule. Ces bûches doivent reposer sur le sol par leur extrémité la plus large; on les serre autant que possible les unes contre les autres pour éviter les vides, en mettant les gros morceaux au centre, et les petits à l'extérieur. Sur le côté de la meule le mieux protégé du vent, on ménage au niveau du sol un canal de 15 à 20 centimètres de côté, qui sert à allumer le combustible placé dans la cheminée. Sur la première couche de bûches, on dispose une deuxième couche identique et, enfin, on donne à la meule la forme hémisphérique au moyen de rondins. On remplit avec du petit bois les vides existant entre les bûches formant la surface extérieure. On place ensuite le revêtement de terre, qui comporte une couche de gazon, de feuilles ou de mousse recouverte d'une couche de terre

argileuse et de poussier de charbon mélangés, auxquels on donne de l'adhérence en les tassant fortement.

On arrête le revêtement à une certaine hauteur au-dessus du sol pour que l'air ait un libre accès à la partie inférieure, afin de faciliter l'allumage dès le début de l'opération.

A cet effet on construit autour de la meule un petit mur en pierres sèches de 15 à 20 centimètres sur lequel repose le revêtement. L'épaisseur du revêtement, qui est de 15 à 25 centimètres vers le bas, n'est que de 8 à 10 centimètres à la partie supérieure.

On allume ensuite la meule au moyen d'une boule de résine enflammée que l'on introduit avec une longue tige par le canal horizontal ménagé à cet effet. Quand la cheminée est bien allumée, on ferme le canal.

La combustion pénètre jusqu'au centre et se propage de bas en haut, grâce à l'afflux de l'air qui se produit par le pourtour inférieur de la meule, dépourvu de revêtement. La cheminée doit rester ouverte pendant quelques heures pour permettre au centre de la meule de bien s'enflammer. On empêche qu'il ne se forme un vide au centre de la meule en y jetant du menu bois. On bouche la cheminée quand le feu est bien pris partout.

Au fur et à mesure de la combustion, l'humidité est chassée vers le revêtement, qu'elle atteint au bout de vingt-quatre heures environ. Cette période de la carbonisation s'appelle la *suée*, et il se forme alors quelquefois, à l'intérieur de la meule, des hydrocarbures qui donnent avec l'air des mélanges détonants ; les explosions peuvent déranger le bois et faire éclater le revêtement, qu'il faut alors réparer le plus rapidement possible.

Au bout de huit à dix jours, le revêtement se dessèche et la fumée plus claire monte verticalement. On diminue alors l'arrivée d'air en recouvrant de terre le pied de la meule et en augmentant l'épaisseur du revêtement à la partie supérieure. La chaleur accumulée à l'intérieur de la masse de charbon incandescent placée au centre de la meule, sert à continuer la carbonisation. On surveille attentivement cette partie de l'opération : si elle réussit, la meule s'affaisse régulièrement ; si l'affaissement est irrégulier, c'est que la combustion ne se produit pas d'une manière uniforme : on pratique, pour y remédier, dans le revêtement des *évents* de façon à amener de l'air dans les parties de la meule qui se tassent le moins.

Le volume le plus avantageux à donner aux meules est de 30 à

70 mètres cubes, comme dans le Hartz. Les petites meules donnent lieu à une main-d'œuvre onéreuse; les meules trop grandes sont difficiles à conduire. En France, les meules ont, en général, 30 mètres cubes avec 5 mètres de diamètre, tandis qu'en Autriche on rencontre des meules de 200 mètres cubes.

Pour déterminer ce qui se passe pendant la carbonisation du bois en meules, on a comparé la composition des gaz qui se dégagent des évents avec celle des gaz produits dans la distillation du bois en vases clos.

Lorsque la fumée est blanche et abondante, les gaz sortant des évents ont la composition suivante (moyennes de 5 expériences) :

Acide carbonique	26,7
Oxyde de carbone	9,7
Hydrogène	9,9
Azote	53,7
	100,0

Les produits liquides correspondant à 1 litre de gaz précédent, supposé sec, pesaient 1gr,03. Ces produits ont paru identiques avec ceux que donne la distillation du bois en vase clos.

Quand la fumée est claire, presque transparente et peu abondante, l'analyse des gaz puisés dans l'évent donne (moyennes de trois expériences) :

Acide carbonique	22,6
Oxyde de carbone	5,7
Hydrogène	12,3
Azote	59,4
	100,0

Les produits liquides qui correspondent à 1 litre de gaz sec pesaient 0gr,531.

Ces analyses montrent que l'oxygène de l'air se transforme principalement en acide carbonique, car la proportion d'oxyde de carbone contenue dans ces gaz ne renferme que 20 à 25 0/0 de l'oxygène qui correspond à l'azote dans l'air atmosphérique.

Comparons ces résultats à ceux que donne l'analyse des gaz obtenus dans la distillation du bois en vases clos.

Dans la première période de la distillation en vases clos (fumées abondantes épaisses et piquantes), les gaz recueillis renferment :

Acide carbonique	44,9
Oxyde de carbone	36,8
Hydrogène	16,8
Azote et perte	1,5
	100,0

A la fin de la distillation, les gaz brûlant à l'air avec une flamme bleue contiennent :

Acide carbonique	29,2
Oxyde de carbone	24,9
Hydrogène	44,2
Azote et perte	1,7
	100,0

Dans la carbonisation en meules, on trouve les résultats suivants. Première période : fumées blanches épaisses :

Acide carbonique	39,1
Oxyde de carbone	30,0
Hydrogène	30,9
	100,0

Deuxième période : fumées claires :

Acide carbonique	28,0
Oxyde de carbone	22,8
Hydrogène	49,2
	100,0

Les gaz fournis par la carbonisation en meules auraient ainsi la même composition que ceux qui sont produits dans la distillation en vases clos, principalement vers la fin de l'opération. Dans les deux manières d'opérer, l'acide carbonique et l'oxyde de carbone diminuent à mesure que l'opération avance, tandis que la proportion d'hydrogène augmente.

Meules horizontales. — Les meules horizontales ont la forme d'un rectangle allongé, dont le petit côté a pour longueur celle des bûches ($1^m,50$ à $6^m,50$) environ, et dont l'autre a une dimension deux ou trois fois plus grande (*fig.* 131).

On construit la meule sur une aire inclinée de 1/10 à 1/20, le grand côté de la meule étant disposé suivant cette inclinaison. On dispose sur le sol, suivant la longueur de la meule, trois pièces de bois de 15 à 20 centimètres de diamètre, *a*, sur lesquelles on place les bûches

afin qu'elles ne soient pas en contact immédiat avec le sol. On enfonce, du côté du pied de la meule, deux pieux *b*, qui serviront à maintenir les bûches, qu'on empile parallèlement au petit côté de la base sur 1m,80 à 2 mètres de hauteur à l'avant et sur 3 mètres à l'arrière. On donne moins de compacité à la meule en disposant quelques bûches dans une direction perpendiculaire. Les plus gros bois sont placés au milieu du tas.

Au pied, on ménage, à 0m,50 environ du sommet de la meule, un vide *k* de 15 à 20 centimètres de côté, que l'on remplit de branches mortes ou de matières combustibles pour l'allumage. On garnit ensuite les vides avec des branchages, et on met en place le revête-

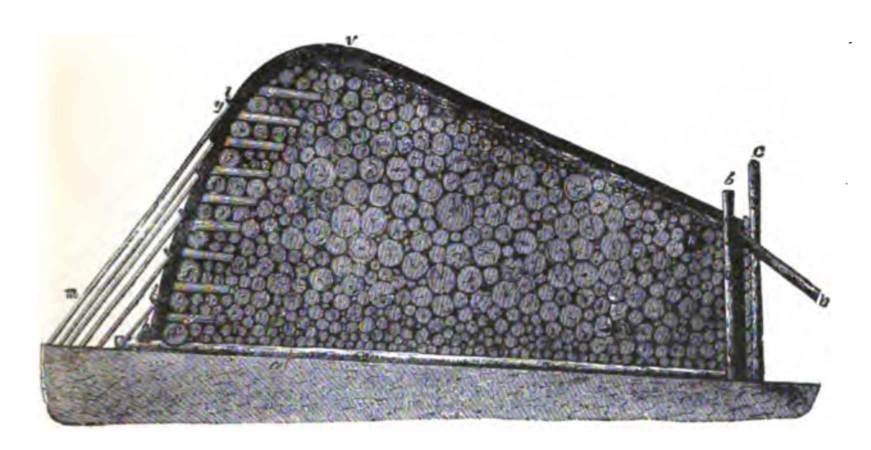


Fig. 131. — Meule horizontale pour la carbonisation du bois.

ment en terre, que l'on soutient avec des pièces de bois *h*, *i*, *y*, *m* dans les parties inclinées, notamment à l'arrière, où le revêtement ne tiendrait pas.

Sur les côtés et à l'avant, où les parois sont verticales, on dispose, à 15 centimètres environ des parois de la meule, une cloison en planches, soutenue par des piquets et des contre-fiches, et on remplit l'intervalle avec de la terre. Les cloisons ne descendent pas jusqu'à terre ; on ménage au bas un vide que l'on bouche avec de la terre. On perce dans les cloisons une ouverture correspondant au trou d'allumage *k*. En mettant le feu à la meule, il faut avoir soin que l'inflammation se produise sur toute la largeur du canal *k*, dont on bouche ensuite les deux extrémités.

Pour que la combustion s'étende uniformément à toute la partie

antérieure de la meule, on ouvre des évents dans cette paroi d'abord à une certaine hauteur au-dessus du canal *k*, puis progressivement de plus en plus bas jusqu'au ras du sol; on bouche ces évents dès que le feu les atteint. La mise en feu complète de cette partie de la meule demande de quatre à six jours. La combustion se propage vers l'arrière par couches parallèles inclinées, les bûches supérieures prenant toujours feu avant les bûches inférieures. On règle la marche de la combustion dans cette direction en ménageant des évents de mètre en mètre dans les parois latérales. On bouche ces évents dès qu'il s'en dégage une légère fumée bleuâtre. De même on ouvre des évents pour faire pénétrer la combustion dans la partie postérieure de la meule en faisant descendre progressivement ces évents depuis le haut jusqu'au sol. Au fur et à mesure que la combustion progresse, on diminue la perméabilité du revêtement en le renforçant dans les parties où la combustion est terminée.

La carbonisation peut durer de deux à cinq semaines et plus suivant la grandeur de la meule.

La conduite des meules horizontales est simple, il y a moins de fumerons que dans les meules verticales; mais on obtient des charbons très légers. Il faut aussi employer des bois très réguliers.

Quand la carbonisation d'une meule est complète, on laisse refroidir pendant quelques jours; mais ce refroidissement est très lent parce que la meule contient une grande quantité de charbon enflammé et que la combustion est entretenue par les filets d'air qui pénètrent à travers les fentes du revêtement.

Pour obvier à cet inconvénient, on ouvre la meule en un point et on tire le charbon rouge, avec un crochet de fer : on éteint immédiatement ce charbon dans l'eau. On procède alors au triage en séparant du menu les gros morceaux qui ont plus de valeur et on emploie comme remplissage dans une opération ultérieure les fumerons et les morceaux de bois mal carbonisés que l'on met de côté.

Rendement des meules. — On peut donner les chiffres suivants pour le rendement en volume :

	Minimum.	Maximum.	Moyenne.
Pour meules horizontales......	59,5	78,5	70,3
— verticales........	50,5	75,1	62,

D'ailleurs, le rendement varie avec la nature du bois.

	MEULES VERTICALES (Rendement en volume)	MEULES VERTICALES (Rendement en poids)
Chêne	71,8 0/0	21,3 à 23,4 0/0
Chêne	74,3	
Hêtre rouge	73,0	22,7 0/0
Bouleau	68,5	20,9
Charme	57,2	20,6
Pin	63,6	25,0

D'autre part, on a trouvé les rendements en poids suivants (meules verticales) :

Hêtre rouge et chêne de deux ans	24,2 0/0
— de huit mois	23,8
Chêne de deux ans écorcé	25,9
— de trois mois non écorcé	22,6
— de huit mois écorcé	21,9
— récemment abattu, non écorcé	13,8
Hêtre rouge de trois mois non écorcé	20,1
— écorcé	24,2
Hêtre rouge récemment, abattu, non écorcé	13,1

On a également fait des essais pour déterminer le rapport existant entre la durée de la carbonisation et la quantité de charbon de bois produite.

DURÉE DE LA CARBONISATION	POIDS EN KILOGRAMMES	
	BOIS	CHARBON DE BOIS
13 jours	31.785	6.770
14 —	31.537	7.394
12 —	22.267	5.045
14 —	22.291	4.669
11 —	24.517	5.044
19 —	25.120	6.287

Récupération des sous-produits. — Dans la carbonisation du bois en meules, les produits de la distillation, notamment le vinaigre de bois et le goudron, sont perdus.

On a cherché à recueillir, au moins en partie, ces produits, en revêtant les meules avec de la chaux éteinte qui retient l'acide acétique sous forme d'acétate de chaux que l'on extrait en traitant la

chaux par l'eau. On peut employer le revêtement ordinaire et disposer l'aire de support de la meule en forme de cuvette bien étanche; un canal partant du centre de cette cuvette aboutit dans un bassin placé en contre-bas sur le côté de la meule.

Dans les Landes, on recueille le goudron des sapins en pratiquant la carbonisation dans une cuvette surélevée en maçonnerie concave ayant de 3 à 5 mètres de diamètre. Un tuyau vertical part du point le plus bas, se courbe horizontalement et aboutit à un réservoir à goudron; on bouche ce tuyau à son extrémité au moyen d'un tampon de bois.

On construit une meule verticale sur cette aire (*fig.* 132) avec des morceaux de bois de sapin, refendus de façon à ne présenter que quelques centimètres d'épaisseur, et bien desséchés, ce qui est essentiel pour la qualité du goudron. La meule, garnie d'un revêtement en fraisil, est allumée, et le feu est conduit comme pour une meule ordi-

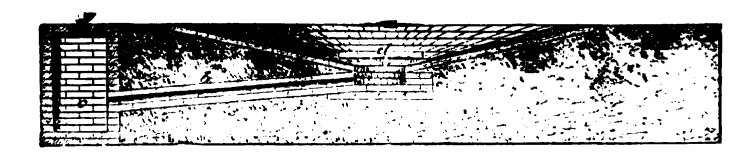


Fig. 132. — Aire en maçonnerie pour meule verticale.

naire. Lorsque la meule est à demi carbonisée, on examine le goudron rassemblé au fond de la cuvette; s'il est résineux et rouge, il faut, par une véritable cuisson, lui enlever son eau, le concentrer et développer le goût empyreumatique qu'il doit posséder. Au bout de soixante à soixante-dix heures, cette cuisson est complète, et on fait écouler le goudron trois ou quatre fois par vingt-quatre heures. Lorsqu'il cesse de se produire, on active le feu pour achever la carbonisation du bois. On obtient ainsi en goudron 20 0/0 du poids du bois et, par 100 kilogrammes de bois, 2 hectolitres de petit charbon de bonne qualité.

On traite de grandes quantités de bois résineux dans l'intérieur de la Russie au point de vue de la production du goudron (*fig.* 133). Les meules sont établies à une certaine hauteur au-dessus du sol sur une aire formée d'une couche épaisse d'argile inclinée vers le centre. Les bûches ont 10 à 12 centimètres d'épaisseur et sont empilées verticalement de manière à former six à sept couches superposées. La meule, formée de 1.000 à 2.000 mètres cubes de bois, a de 20 à 30 mètres de diamètre. Un mélange de paille et de sable constitue le revêtement.

On pratique, à la partie inférieure de la meule, 40 ou 50 évents qui servent à allumer le bois et on les bouche dès que le feu a atteint la partie supérieure. On surveille le revêtement qui doit être maintenu en bon état. On recueille vers le bas le goudron liquide. Au bout d'une dizaine de jours, on fait écouler le goudron par un tuyau en bois de 15 centimètres qui le conduit dans une cavité inférieure, où on le recueille chaque matin pendant trois à quatre semaines. 23 mètres cubes de bois donnent ainsi une barrique de goudron; mais le revêtement de la meule est trop perméable pour permettre de recueillir ainsi une forte proportion de charbon.

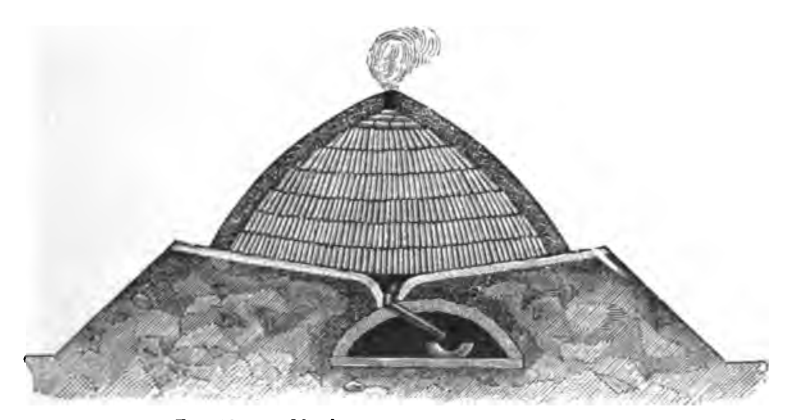


Fig. 133. — Meule russe avec trou à goudron.

Carbonisation en fours. — On peut considérer les fours comme des meules à revêtement fixe où la carbonisation est obtenue par la combustion d'une partie du bois à carboniser en présence d'une quantité d'air limitée. Dans les fours, on peut condenser facilement et assez complètement les produits de la distillation; mais ils donnent un charbon peu abondant et de qualité médiocre.

On emploie pour la carbonisation du bois des fours de formes très variables.

On emploie beaucoup dans l'Oural un four rectangulaire avec foyer d'allumage latéral et carnaux regagnant le centre du four. On charge et on retire le bois au moyen d'une porte en fonte existant sur l'un des côtés du rectangle. Aux angles sont édifiés deux ou quatre cheminées en planches fixées dans des tonneaux où se condensent les goudrons non brûlés.

Dans l'Oural méridional les fours rectangulaires ont une capacité

de 39 à 40 mètres cubes; ils sont à marche rapide et font 4 opérations par mois. On obtient de meilleurs résultats dans des fours de 85 à 90 mètres cubes faisant 2 opérations par mois et donnant un charbon qui se rapproche plus de celui des meules. Ces grands fours coûtent moins cher d'installation à production égale; ils sont construits en briques rouges ordinaires fabriquées sur place autant que possible et recouverts d'une toiture grossière en bois dont les supports sont noyés dans la maçonnerie.

Les fours suédois Ljungberg, à forte production, exigent des frais de premier établissement très élevés, beaucoup de régularité dans les approvisionnements, dans la qualité et les dimensions des bois.

Au Mexique, on emploie un four comportant une chambre en maçonnerie réfractaire de près de 1.000 mètres cubes (15 mètres sur 12 mètres et $5^{m},50$), maintenue extérieurement par une charpente en bois.

Une porte ménagée sur un des petits côtés, sert à charger et à décharger le four; un grand nombre d'évents sont disposés à la partie inférieure pour activer et réaliser la combustion.

On remplit entièrement le four avec des bûches en ménageant au milieu une cheminée correspondant à une ouverture, qu'on remplit de matières inflammables. On allume et, quand le feu s'est suffisamment propagé, on ferme les orifices d'allumage. Les évents placés d'un côté du four fournissent l'air nécessaire à la combustion dont les produits s'échappent par les évents placés de l'autre côté. On ferme les évents, dès que la fumée qui sort par les ouvertures devient bleue.

Carbonisation en vases clos. — Au lieu de produire la chaleur nécessaire à l'opération aux dépens d'une partie de la substance à carboniser en admettant de l'air au milieu de la masse à traiter, on peut, au contraire, carboniser le bois au moyen d'une source de chaleur extérieure.

Dans certains fours, comme ceux de Reichenbach, la chaleur est apportée par des tuyaux en fer circulant au milieu de la masse du bois, et communiquant avec un foyer placé à l'extérieur du four: il se produit alors une carbonisation tout le long des tuyaux, et une conduite spéciale met le four en communication avec les appareils à condensation. On dépense ainsi beaucoup de combustible, parce que le foyer n'est pas en contact direct avec le bois.

On obtient des résultats plus rapides et plus réguliers en faisant

passer directement l'air chaud sur le bois, au lieu de lui faire traverser des tubes en fer; mais il faut priver cet air chaud d'oxygène. Ce système mixte tient le milieu entre la carbonisation en vases clos proprement dits et en fours : il repose sur ce principe qu'une flamme non oxydante peut décomposer le bois sans le brûler.

Le four suédois de Schwartz est établi sur ces bases (*fig.* 134).

La carbonisation s'effectue dans une chambre en maçonnerie *b*, de 9 mètres cubes de capacité; l'air chaud nécessaire pénètre dans la chambre par les ouvertures *c*, *c*. Les liquides se condensent sur la tôle inclinée et sont recueillis dans les tonneaux à goudron *f*, *f*, au moyen de tuyaux traversant la maçonnerie *a* et de siphons *e*, *e*. On recueille dans des condensateurs *h*, *h* au moyen de tubes *g*, *g*, les



Fig. 134. — Four suédois de Schwartz.

vapeurs d'esprit de bois. Une cheminée *i* donne le tirage nécessaire. On introduit le bois par une porte latérale fermée pendant l'opération.

La figure 135 représente un appareil à foyer extérieur, de dimensions réduites et d'un usage plus général. Le cylindre en tôle A, muni d'un couvercle *b*, contient le bois à carboniser. La chaleur est produite par un foyer *g*, et les produits de la combustion circulent autour du cylindre par les carneaux *k*, avant d'arriver à la cheminée *l*. Les produits de la distillation du bois passent, en sortant du cylindre, par le tuyau *c*, d'abord dans un réfrigérant *d*, puis dans un condenseur *e*. Le goudron et les eaux goudronneuses se condensent et coulent en *o*. Les produits gazeux sont ramenés par le tuyau *f* au-dessus de la grille *g* et y sont brûlés; ils développent une chaleur suffisante pour achever seuls la carbonisation.

Ces appareils donnent un rendement assez élevé, 25 à 27 0/0 de

charbon, 8 à 10 0/0 de goudron, 58 à 60 0/0 d'eau acidulée marquant 1,027 de densité. Malheureusement, on est obligé de donner au cylindre A des dimensions assez faibles, à cause du peu de conductibilité du charbon, qui empêcherait la chaleur d'arriver jusqu'au milieu de la masse du bois.

Il existe d'autres appareils de carbonisation du bois fixes ou mobiles, dont le principal objet est la fabrication des sous-produits de la distillation du bois; acide acétique, goudron, gaz, etc., sujet qui sort du cadre de notre ouvrage.

Quand on adopte la carbonisation en four, il faut être assuré de pouvoir alimenter les appareils au moyen de transports à bon marché

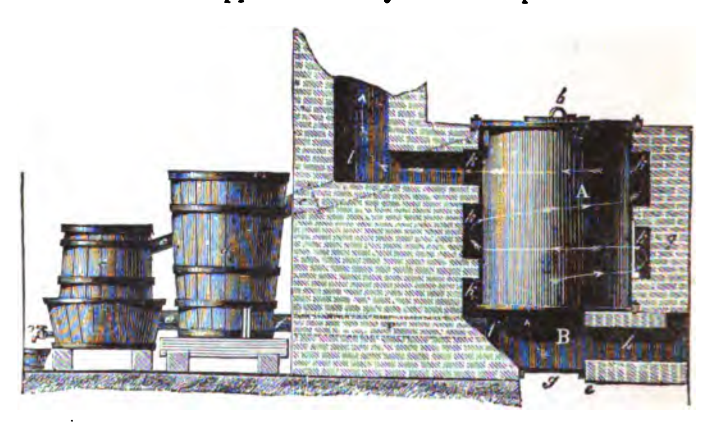


Fig. 135. — Four de carbonisation avec récupération des sous-produits.

et il faut se placer dans des points où la forêt est très dense. Si le charbon de bois est destiné à alimenter des hauts fourneaux, la qualité du produit joue un rôle considérable et elle dépend surtout du mode de carbonisation. Les travaux du laboratoire officiel de Zlatooust ont confirmé ce que nous avons dit plus haut au sujet de la plus grande richesse des charbons de meules en carbone fixe; les charbons de four renferment au contraire une forte proportion de produits volatils (carbures d'hydrogène) qui sont gênants et inutiles dans le haut fourneau.

Mais le faible rendement des meules en poids et en volume rend leurs produits plus chers que ceux des fours et on peut aussi manquer de bons charbonniers, surtout dans les pays neufs comme dans l'Oural; quelquefois aussi le bois feuillu manque pour couvrir les

meules et dans les forêts de pins on est obligé de recouvrir les meules avec du gazon quand il y en a.

On a gaspillé beaucoup de bois dans certaines forêts, dans l'Oural notamment, en travaillant sans méthode ; on empilait horizontalement sans contrôle des arbres quelconques coupés en sections de longueurs arbitraires; on allumait au centre l'empilage recouvert de terre végétale et le rendement était très mauvais.

En somme, le procédé des meules, quand il est convenablement pratiqué, est celui qui donne le meilleur charbon de bois. C'est aussi celui qui est le plus généralement adopté.

QUATRIÈME PARTIE

AGGLOMÉRÉS

CHAPITRE XVI

GÉNÉRALITÉS SUR LES AGGLOMÉRÉS

Historique. — Nature des combustibles soumis à l'agglomération. — Emploi des briquettes. — *Réception des briquettes.* — Essais de cohésion. — Incinération. — Calcination. — Essais divers. — *Matières agglomérantes.* — Brai. — Essai du brai. — Suppression du brai par chauffage à haute température ou par compression. — Agglomérants divers. — *Agglomérés au brai.* — Influence de la qualité du brai. — Influence de la proportion de brai. — Influence de la pression.

On désigne sous le nom de briquette un bloc formé de combustible menu, aggloméré mécaniquement.

Historique. — L'époque la plus ancienne à laquelle on peut faire remonter la fabrication des briquettes est l'année 1594, date à laquelle sir Hugh Platt écrivit une notice sur ce sujet. Les premières briquettes fabriquées en France eurent une valeur commerciale dans le cours de l'année 1843. L'emploi du brai solide comme matière agglomérante est dû à M. William Wylam, de Newcastle-on-Tyne, qui prit pour cela un brevet, en 1843.

A peu près à la même époque, le combustible aggloméré fut fabriqué pour la première fois commercialement à Bérard, près Saint-Étienne, en France.

En effet, c'est en 1833, que MM. Ferrand et Marsais firent les premiers essais de briquettes préparées au moyen de goudron de houille. En 1844, on commença à employer le brai gras, c'est-à-dire

le goudron débarrassé de 20 à 25 0/0 de matières volatiles, puis le brai sec, c'est-à-dire le goudron soumis à une température de 300°, ce qui élimine toutes ses matières volatiles. En 1842, M. Marsais fit construire en France les premières machines à agglomérer.

Depuis, de nombreuses usines à briquettes ont été créées, tant sur le carreau des mines que dans les ports d'importation de charbons anglais, tels que Dieppe, le Havre, Honfleur, Caen, Saint-Malo, Saint-Nazaire, etc., où l'on traite des menus d'origine étrangère avec le brai anglais.

L'agglomération des combustibles joue un grand rôle dans le développement des mines : grâce à elle, leur production a pu s'augmenter malgré la qualité souvent inférieure des houilles. En effet, en France et en Belgique, les combustibles minéraux sont moins purs et surtout beaucoup plus friables qu'en Angleterre. La proportion des déchets atteint souvent 15 à 18 0/0. La question de l'emploi des menus et de leur transformation en briquettes a donc eu une importance capitale pour les mines de houille.

On utilise les fines et les poussiers qui se produisent pendant la manutention et la préparation mécanique des charbons.

Les poussiers d'anthracite ne peuvent s'agglomérer que mélangés à des fines grasses, et même dans ces conditions la quantité de brai nécessaire est assez élevée, ce qui renchérit considérablement le coût des briquettes. On peut transformer aussi les déchets et les poussières (2 à 3 0/0) que donne la manutention du coke. Ces menus doivent être au préalable lavés et séparés des cendres, terres et autres impuretés qu'ils contiennent. La fabrication de briquettes avec ce produit est chère par suite de la quantité de brai élevée nécessaire pour l'agglomération. De plus, les menus de coke qui sont durs et acérés exercent sur les organes des presses une action limante qui produit une certaine usure.

Toutefois il ne faut pas s'engager sans un examen approfondi de la question dans l'emploi exclusif des briquettes, car, dans beaucoup de cas, il peut être avantageux d'éviter des frais de transformation de 5 à 8 francs par tonne en brûlant directement les menus dans les foyers spéciaux que nous avons décrits.

Nature des combustibles soumis à l'agglomération. — Bien que toutes les qualités de houille soient convenables pour l'agglomération, on passe généralement dans les presses des houilles demi-grasses contenant de 13 à 17 0/0 de matières volatiles.

Quand on agglomère des houilles sèches à longue flamme ou des charbons gras, on doit chercher à réduire au minimum la proportion de brai, pour éviter autant que possible la fumée. On peut descendre jusqu'à une teneur de 12 à 14 0/0 de matières volatiles, en portant la proportion de brai jusqu'à 9 à 10 0/0; mais les houilles très maigres, ne contenant que 9 à 10 0/0 de matières volatiles, donnent des briquettes d'une combustion lente et difficile.

A froid, les briquettes de charbon maigre présentent une cohésion satisfaisante ; mais, une fois sur la grille, elles tombent en poussière et donnent un coke fragile, si elles ne contiennent pas une forte proportion de brai. On doit donc mélanger les charbons maigres avec des charbons gras, pour obtenir des briquettes se comportant bien dans le foyer, tout en ne dépensant pas une trop forte quantité de brai. Malgré cela, les agglomérés obtenus avec les mélanges de charbons maigres et de charbons gras sont très nettement inférieurs à ceux qui proviennent de charbons demi-gras, même en admettant que la teneur en matières volatiles soit identique : leurs cendres sont fusibles, et leur combustion très lente.

Il est souvent difficile de fabriquer de bonnes briquettes avec les lignites seuls : en les mélangeant avec d'autres combustibles, on arrive à les utiliser dans de meilleures conditions. Ainsi on peut fabriquer des briquettes ayant une cohésion de 60 à 70 0/0, avec un mélange de demi-gras d'anthracite et de 10 0/0 de lignite : ces briquettes contiennent 8 1/2 0/0 de brai en moyenne et 19 0/0 de matières volatiles.

On peut également agglomérer un mélange de tourbe et d'anthracite, au moyen de goudron en briquettes rondes.

Un grand nombre de mines allemandes (plus de 24) sont pourvues de fabriques de briquettes pour l'utilisation des menus maigres westphaliens, qui sont très abondants, parce que le charbon est très tendre.

Les lignites, qui contiennent une forte proportion de matières bitumineuses, se ramollissent à la chaleur ; les menus et les poussiers de lignite peuvent donc être transformés en briquettes, sans addition d'agglomérant. Toutefois la pression nécessaire à l'opération ne pouvant être inférieure à 1.200 kilogrammes par centimètre carré, il faut employer des machines très puissantes, dont la production est très faible et l'usure très rapide. Il existe en Allemagne quelques usines montées sur ce principe (Voir page 294).

Emploi des briquettes. — Les briquettes offrent certains avantages,

notamment ceux de ne pas s'altérer en tas comme les menus, et d'être d'un arrimage facile qui permet d'économiser environ 10 0/0 de la place occupée par le charbon. Dans les entrepôts et les cales de navires, on peut estimer à $0^{m3},045$ environ l'espace occupé par une tonne de briquettes, tandis qu'une tonne de houille occupe environ $1^{m3},220$. Ces qualités rendent les briquettes précieuses pour la navigation à vapeur.

La Marine française estime que l'on peut emmagasiner 280 kilogrammes de briquettes par mètre cube de soute, soit 10 0/0 de plus en volume qu'avec la houille en morceaux; la perte par formation de poussiers, qui atteint jusqu'à 30 0/0 avec la houille en morceaux, ne dépasse jamais 5 0/0 pour la briquette.

De plus, les briquettes brûlent facilement sur les grilles et donnent de bons résultats, même entre les mains de chauffeurs ordinaires, tandis que l'emploi des menus exige des appareils spéciaux et un personnel exercé : les petits industriels et les particuliers recourent donc volontiers aux briquettes pour le chauffage domestique ou pour les petites installations de force motrice. Enfin on peut mélanger des charbons de provenances diverses, et obtenir ainsi à l'état de briquette un combustible doué de qualités spéciales.

L'importance de la fabrication des agglomérés suit ainsi en France une marche ascendante; la marine et la consommation domestique absorbent une forte partie de la production des usines, qui appartiennent pour la plupart aux Sociétés minières. Les mines françaises produisant actuellement plus de 100.000 tonnes de briquettes par an sont celles d'Aniche, d'Anzin, de Vicoigne et Nœux, la Grand-Combe, Rochebelle et Blanzy.

Réception des briquettes. — Les briquettes ont la forme d'un parallélipipède rectangulaire ou d'un cylindre droit à base circulaire, et on demande qu'elles aient toutes sensiblement le même poids, en général 8 à 10 kilogrammes, qu'elles soient bien agglomérées, c'est-à-dire entières, non fendillées, non grêlées, sèches, dures, sonores, homogènes, compactes, à grain fin et serré, peu hygrométriques et à peu près sans odeur.

Les briquettes doivent s'allumer facilement et brûler avec une flamme vive et claire, sans s'écraser sur les grilles ni se désagréger au feu; elles ne doivent donner qu'une fumée grise et légère et ne pas produire de mâchefers adhérents pouvant obstruer la grille.

Les briquettes doivent être de garde, c'est-à-dire que, mises en tas

et exposées aux intempéries, elles ne doivent ni se déliter, ni s'écraser. Le poussier des briquettes est en général refusé et, si la quantité de menu ou de poussier constatée dans une cale de navire donne à craindre que les briquettes ne soient trop friables, on se réserve souvent le droit de refuser toute la cargaison. Le déchet pour bris dans le transport ne doit pas dépasser 5 0/0.

Nous indiquerons l'ensemble des essais que l'on peut faire en cas de marchés importants; le lecteur appréciera facilement lui-même quelles sont les conditions et prescriptions à maintenir suivant l'importance du marché qu'il a en vue.

Les menus de charbon destinés à la fabrication des briquettes devront provenir exclusivement des mines désignées dans la soumission et qui devront être acceptées préalablement par l'acheteur; ils doivent être dépourvus de toutes matières étrangères, telles que pierres, schistes (*slates*), pyrites, etc.; ils devront être de récente extraction et lavés avec soin. Cependant les menus anglais ne sont généralement pas lavés.

La matière agglomérante sera, en général, le brai sec, c'est-à-dire le résidu du goudron minéral dont on aura enlevé 40 0/0 de matières volatiles et qui, dans cet état, doit être à la fois très solide et à peu près sans odeur.

Le brai soumis à la chaleur dans le fourneau à coupelle et en vase clos, doit laisser dans le creuset un charbon boursouflé dont le poids ne doit pas être inférieur à 40 0/0 ni supérieur à 45 0/0 de la quantité de brai essayé.

On demande, en général, que le fabricant introduise 8 0/0 de brai dans les briquettes. Les chemins de fer du Sud de la France tolèrent de 5 à 8 0/0 de brai. En Italie (Sicile, Méditerranée), on exige au minimum 8 0/0 de brai sec ou 10 0/0 de goudron dans les briquettes qui doivent être fabriquées (soit en Italie, soit à l'étranger) avec des menus demi-gras de provenance anglaise fournis par des houillères agréées par l'acheteur et appartenant aux bassins de Cardiff ou de Newport (à l'exclusion de Newcastle, si l'acheteur ne peut accepter cette provenance).

Essais de cohésion. — En général, on prend sur chaque wagon, au moment du pesage et au hasard, un morceau de briquette pesant 3 kilogrammes environ, pour servir, à la fin de chaque mois, aux essais de cohésion et à la vérification par incinération.

Chaque acheteur détermine le degré de cohésion qu'il exige. Dans

la plupart des cas, on stipule que les briquettes devront avoir une cohésion minimum de 50 0/0, et qu'au-dessous de ce chiffre la fourniture pourra être refusée.

Pour déterminer le degré de cohésion, on se sert presque partout d'un appareil consistant en un cylindre de tôle de fer à axe extérieur horizontal, porté par deux supports et ayant 90 centimètres de diamètre. Cet appareil, fermé à ses deux bouts, renferme intérieurement trois cloisons diamétrales équidistantes dont la saillie est de 20 centimètres, et qui ont pour longueur celle du cylindre, soit 1 mètre. Une porte fermant au moyen d'un panneau à coulisse permet d'introduire la matière à essayer.

L'essai se fait sur 50 kilogrammes d'agglomérés, et les morceaux introduits dans le cylindre pèsent chacun 500 grammes environ. Ces morceaux, de forme cubique autant que possible, étant placés dans l'appareil, on fait tourner pendant deux minutes à la vitesse de vingt-cinq tours par minute; puis, on sort les morceaux d'agglomérés, et l'on met à part tous ceux qui ne passent pas à travers une grille à barreaux ronds espacés de 40 millimètres.

Pour que l'essai soit bon et la matière recevable, il faut que la quantité de morceaux restés sur la grille dont il vient d'être parlé pèse au moins 25 kilogrammes.

En résumé, on exprime la cohésion par le rapport du poids des morceaux qui restent sur la grille au poids initial de briquettes traité dans le cylindre. Il faut avoir soin de tenir compte de ce fait d'expérience, signalé par M. Rossigneux, que le nombre de tours par minute adopté pour la vitesse de rotation du cylindre doit être constant et égal à 25; si l'on adoptait une vitesse de 50 tours en trois minutes, au lieu de deux, la cohésion, qui est de 50 0/0 à la vitesse normale, ne serait plus que de 40 0/0, tandis qu'elle atteindrait 86 0/0, si l'on adoptait une vitesse de 50 tours en soixante-dix secondes. La marine française exige, en général, une cohésion de 52 0/0 mesurée avec l'appareil décrit ci-dessus, sauf pour les torpilleurs, qui sont approvisionnés de briquettes donnant une cohésion de 58 0/0.

Lorsque les briquettes ont une cohésion inférieure au minimum fixé, à 50 0/0 par exemple, il peut être stipulé qu'il sera fait, sur le prix de la tonne, une réduction que certains acheteurs fixent à 15 centimes pour chaque centième en moins, si la cohésion est comprise

entre 40 et 50 0/0, et à 25 centimes pour chaque centième en moins, si la cohésion est comprise entre 30 et 40 0/0.

Dans ce cas, on convient que les briquettes qui auront moins de 30 0/0 de cohésion pourront être refusées. Certaines Compagnies refusent au-dessous de 40 0/0.

Dans le cas où l'acheteur n'exerce pas son droit de refus, il peut stipuler qu'une pénalité de 0 fr. 30 sera appliquée pour chaque centième en moins de 50 0/0.

Incinération. — Tous les échantillons, y compris ceux qui ont servi aux essais de cohésion, sont, à la fin du mois, réduits en poudre que l'on mélange avec soin; puis l'on en prend environ 500 grammes que l'on réduit de nouveau en poudre très fine, et que l'on tamise avec un tamis n° 60. La poudre ainsi tamisée sert aux essais par incinération et par calcination décrits à propos de la houille.

On fait trois essais, et la moyenne des trois opérations donne la teneur en cendres applicable à toute la livraison faite pendant le mois.

Si la moyenne des incinérations ainsi faites donne une quantité de cendres supérieure à un quantum fixé, à 7 1/2 0/0 [1], par exemple, le prix de la tonne des briquettes livrées dans ce mois sera réduit de 1 centime ou plus, suivant les conventions, pour chaque centième en plus de 7 1/2 0/0 [2]. En général, la quantité de cendres tolérée varie de 6 1/2 0/0 à 7 1/2 0/0. Souvent l'acheteur stipule dans le marché que, si la moyenne des incinérations accuse plus de 8 1/2 0/0 [3], la réduction sur le prix de la tonne sera doublée, comme il est dit plus haut. Si la moyenne des incinérations dépasse 9 0/0 [3], l'acheteur peut se réserver la faculté de refuser toute la fourniture.

De même, le marché peut contenir une clause d'après laquelle une réduction double serait effectuée pour chaque centième en plus de 7 1/2 0/0 [4], si l'acheteur n'exerce pas son droit de refus.

L'Assistance Publique spécifie une teneur de 6 à 8 0/0 de cendres; elle retient 50 centimes par unité au-dessus de 8 0/0 et refuse l'achat au-dessus de 10 0/0.

Les chemins de fer du Sud de la France fixent le maximum des cendres à 6 0/0. S'il est reconnu pour les briquettes fournies à cette

1. 9 0/0, pour les fournitures du bassin du Centre.
2. 10 0/0, pour les fournitures du bassin du Centre.
3. 12 0/0, pour les fournitures du bassin du Centre.
4. 9 0/0, pour les fournitures du bassin du Centre.

Compagnie un pourcentage de cendres supérieur à 6 0/0, il est retenu au fournisseur 0 fr. 05 par tonne pour chaque fraction de 0,05 0/0, sans tenir compte des fractions au-dessous de 2,5 0/0. Au delà de 7 1/2 0/0, le Sud de la France se réserve le droit de refuser la fourniture. En revanche, cette Compagnie accorde une prime de 0 fr. 05 pour chaque fraction de 0,05 0/0 de cendres fournie au-dessous de 5 1/2 0/0.

En Italie (réseaux de la Sicile et de la Méditerranée), la pénalité est de 0 fr. 40 à 0 fr. 50 par tonne pour chaque unité pour 100 de cendres reconnue en plus de 8 0/0, les fractions d'unité étant comptées proportionnellement.

Calcination. — On fera également trois essais pour matières volatiles dans les conditions décrites pour la houille (Voir chapitre II, page 26).

La diminution de poids du combustible, obtenue par calcination, donne le poids des matières volatiles. La moyenne des trois opérations est considérée comme applicable à toutes les livraisons faites pendant le mois.

Si la moyenne des calcinations ainsi faites donne un poids de matières volatiles inférieur à un taux fixé, 16 0/0 par exemple, le prix de la tonne des briquettes livrées dans ce mois sera réduit dans une certaine proportion, par exemple de 1 centime pour chaque centième de 1 0/0 en moins des 16 0/0.

Si la moyenne des calcinations accuse moins de 15 0/0, on convient de doubler la réduction sur le prix de la tonne, comme il est dit plus haut, pour la teneur en cendres.

Si la moyenne des calcinations est inférieure à 14 1/2 0/0, l'acheteur peut se réserver le droit de refuser toute la fourniture.

Dans le cas où l'acheteur n'exerce pas son droit de refus, une réduction double peut être prévue pour chaque centième en moins de 16 0/0 [1].

Essais divers. — Certaines Compagnies vérifient la puissance calorifique moyenne en employant le calorimètre Thompson et exigent que le poids spécifique de la briquette ne soit pas inférieur à 1,19.

S'il est constaté que le combustible fourni possède une puissance calorifique inférieure à celle qui est garantie par le fournisseur, il peut être opéré des réductions de prix de 5 centimes, par exemple,

1. On ne fait pas d'essais par calcination pour les fournitures du bassin du Centre.

par tonne pour chaque quantité de 10 calories reconnues en moins. L'acheteur ne consent que rarement à annuler les retenues ; si les opérations d'incinération et de calorimétrie donnent lieu à une réduction de prix différente, il n'est tenu compte que de la plus forte retenue.

En outre, si plusieurs analyses ont fait constater plus de 1,25 0/0 de soufre, certains acheteurs se réservent le droit d'exiger, sous peine de refus absolu, un changement de mine, de même que si la teneur en matières volatiles dépasse un certain taux (18 0/0 en Italie).

Certains acheteurs interdisent aux fournisseurs de charger simultanément sur un même navire des charbons ou des briquettes en lots distincts expédiés à eux et à d'autres destinataires, comme également d'affréter un même navire pour le chargement mixte des charbons expédiés par deux ou plusieurs fournisseurs.

Certains acheteurs constatent la dessiccation en prélevant 10 briquettes parmi les dernières qu'on aura débarquées et en les gardant dans une chambre bien éventée pendant 10 jours. Ce temps écoulé, la diminution de poids trouvée sert de base pour fixer le rabais proportionnel à faire sur tout le chargement reçu à bord.

L'Assistance Publique tolère 3 0/0 d'eau dans les fournitures; elle fait compenser par un bon poids l'excédent d'eau de 3 à 7 0/0 et se réserve le droit de refus au delà de 7 0/0 d'eau.

Les briquettes soumises dans une étuve, pendant vingt-quatre heures, à une température de 60°, ne devront éprouver que très peu de ramollissement ; leur densité moyenne sera comprise entre 1,13 et 1,21. Certains acheteurs exigent même une densité moyenne de 1,5.

La condition du ramollissement est essentielle pour la marine, par suite de la température élevée des soutes à charbon. Les briquettes, susceptibles de se ramollir, offriraient le double inconvénient de se souder entre elles et de dégager des principes volatils très nuisibles pour la santé des chauffeurs.

Au laboratoire et au creuset, elles devront donner un coke non friable. La puissance de vaporisation doit être à peu près égale à celle d'un bon charbon à vapeur.

Matières agglomérantes. — Le goudron brut, le brai gras et le brai sec sont les seuls ciments que la pratique ait consacrés et les seuls qui soient encore employés aujourd'hui.

L'usage du goudron de houille remonte à l'année 1833. En 1842,

M. Marsais, frappé des inconvénients de l'emploi du goudron, au double point de vue de la solidité et de l'odeur des briquettes, arriva à lui substituer le *brai gras*, c'est-à-dire le goudron débarrassé de 25 0/0 de matières volatiles.

Depuis lors, le brai gras, qu'on avait substitué au goudron brut, a lui-même été remplacé par le *brai sec*, qu'on obtient en débarrassant le goudron, à une température de 300°, de toutes les matières volatiles à froid.

Le goudron brut, par suite de sa fluidité à la température ordinaire, permet d'opérer à froid le malaxage et la compression de la pâte ; mais on n'obtient ainsi que des briquettes molles se désagrégeant au feu et donnant beaucoup de fumée ; aussi, pour éviter en partie ces inconvénients, est-il à peu près indispensable de soumettre les briquettes à une véritable calcination, afin de les durcir et d'éliminer les composés les plus volatils.

On a proposé de mélanger le goudron à 100° environ avec 1/8 à 1/10 de son poids d'acide sulfurique concentré. On coule dans des moules et on laisse refroidir. Ce produit sert alors d'agglomérant.

L'installation des appareils nécessaires pour cette opération est compliquée et dispendieuse. Aussi ce système, après avoir été employé pendant quelques années dans plusieurs usines, a été abandonné. A Givors, où cette méthode était employée, on ajoutait au charbon menu 8 à 10 0/0 de goudron brut.

Brai. — Le brai est le seul agglomérant pratique. Aussi est-il universellement adopté. Ce produit, qui permet d'obtenir des briquettes offrant une très grande cohésion, possède un pouvoir calorifique élevé. Grâce à son emploi, on diminue la teneur en cendres des menus de mauvaise qualité et on corrige la teneur en matières volatiles des houilles maigres ; les briquettes ainsi fabriquées tiennent bien au feu, et s'agglomèrent bien à la chaleur, même quand elles sont fabriquées avec des houilles maigres qui, sans brai, tomberaient en poussière dans le foyer et ne pourraient être utilisées.

Le brai de bonne qualité renferme de 75 à 80 0/0 de carbone et de 0,25 à 0,5 0/0 de cendres, ce qui correspond à une puissance calorifique de 8.000 calories. L'addition de 5 à 10 0/0 de brai augmente la valeur calorifique du combustible à agglomérer de 2 à 4 0/0.

Le brai gras s'obtient au moyen du goudron de houille auquel on enlève 20 à 25 0/0 de matières volatiles, en le portant à 200°. Une

température de 75° à 80° suffit pour le rendre complètement fluide. Les briquettes au brai gras sont dures et ne se désagrègent pas au feu ; mais elles brûlent avec fumée noire ; cet inconvénient, qui ne permet pas de les employer dans la marine, est moins important pour les chemins de fer. La proportion de brai gras, ajoutée au menu, varie entre 7 et 8 0/0 ; elle doit être d'autant plus forte que les charbons sont plus maigres ; en général, on emploie des charbons bien lavés, demi-gras et riches en carbone.

Le brai sec est du gondron de houille concentré jusqu'à 300° environ et dont on a retiré jusqu'à 35 et 40 0/0 de matières volatiles. C'est le ciment de beaucoup le plus employé aujourd'hui ; il a, sur le goudron, l'avantage de donner des briquettes qui n'ont besoin d'aucune calcination, pour acquérir les qualités requises par le commerce, et, sur le brai gras, celui de donner un produit brûlant avec peu d'odeur et de fumée.

On peut produire de bonnes briquettes avec certaines houilles faciles à agglomérer en employant 10 0/0 de goudron et 4 0/0 de brai.

Dans la plupart des usines d'agglomération, on emploie exclusivement le brai sec soit pur, soit mélangé avec une certaine proportion de goudron. Quelques usines, disposant d'appareils de distillation du goudron, emploient le brai gras qu'on ne peut transporter que dans des tonneaux. L'emploi de ce brai offre certains avantages parce que l'on peut, en le préparant, faire varier la proportion du goudron et influer dans une certaine mesure sur la qualité du brai, qui est plus régulière.

Pour préparer le brai, on chauffe le goudron à feu nu dans de grandes chaudières en tôle ; la distillation donne, avant 150°, de 2 à 6 0/0 en poids du goudron d'huiles légères (benzine, toluène, etc...) marquant 25° à l'aréomètre (densité, 0,80 à 0,85). De 150 à 200° et 220°, on recueille de 20 à 25 0/0 d'huiles lourdes, marquant 15° à l'aréomètre (densité, 0,85 à 0,90). On ne doit pas retirer du goudron plus de 5 0/0 des huiles anthracéniques qu'il contient, si l'on veut obtenir un brai de bonne qualité. Le brai sec, qui reste au fond de la chaudière, soit 65 0/0 environ du poids du goudron, se ramollit à 70° et fond entre 95° et 120° ; la densité de ce brai sec est de 1,19.

Le brai gras, ou brai fondu, s'obtient en arrêtant le chauffage du goudron, avant la distillation des huiles à anthracène : il fond vers 50° ; sa densité est un peu supérieure à celle du goudron : 1,18 au lieu de 1,17.

Essai du brai. — Quand on ne prépare pas soi-même le brai et qu'on achète à l'extérieur du brai sec que l'on emploie en mélange avec le charbon, il faut procéder à un examen très sévère de chaque fourniture avant de la faire passer dans la fabrication.

Le brai sec de bonne qualité doit être solide à la température ordinaire et pouvoir se transporter en vrac sans se briser ni s'agglomérer; toutefois le brai sec, même de très bonne qualité, fond sous l'action prolongée du soleil. Le brai a une couleur noir franc, un aspect gras, une cassure conchoïdale assez brillante ; mais il ne doit pas tacher la main ni y adhérer, c'est-à-dire qu'il ne doit pas être gras au toucher; son odeur est analogue à celle du goudron de houille.

Un indice caractéristique de la qualité du brai est la manière dont il se comporte dans l'eau bouillante à 75°; le bon brai doit sans se casser s'étirer en fils minces, de $0^m,30$ à $0^m,50$ de longueur au moins. Le brai médiocre ou de mauvaise qualité donne, dans ces conditions, des fils courts qui se brisent sous le moindre effort. Le bon brai se ramollit donc à 75° et fond entre 100° et 120°.

Le brai de bonne qualité donne à la calcination de 45 à 52 0/0 d'un coke très dur et boursouflé, et à l'incinération 1/2 0/0 de cendres au maximum. Au point de vue chimique, on doit exiger du brai provenant exclusivement de la distillation du goudron de houille, sans addition de résidus de rectification de pétrole ou d'huile minérale. De même, il faut s'assurer que le fabricant ne pousse pas la distillation trop loin pour recueillir plus de 5 0/0 d'huiles anthracéniques. Dans les usines où l'on pousse la distillation à outrance, on ajoute de l'huile lourde au produit qui, bien que possédant la plasticité et la teneur en matières volatiles voulues, donne des briquettes sans aucune cohésion.

Le dosage du brai peut se faire par un épuisement méthodique à chaud à l'aide d'un mélange de sulfure de carbone et d'éther de pétrole. Afin d'éviter l'agglomération du produit, on le mélange avec du sable sec.

Un moyen pratique d'apprécier rapidement, et d'une manière suffisamment exacte, la qualité d'un brai, est d'en mettre dans la bouche un morceau de 2 à 3 millimètres de côté; un bon brai s'écrase sous la dent sans se casser, et l'on apprécie facilement la qualité du produit d'après sa plasticité, tandis qu'un brai trop sec se casse et tombe en poussière sous la dent.

La Compagnie Paris-Lyon-Méditerranée, qui achète des brais

pour ses usines d'agglomération, a adopté un cahier des charges dans lequel les brais secs sont divisés, d'après leur point de fusion, en trois catégories. Pour apprécier le point de fusion, on peut employer un bloc de fer dans lequel sont ménagées des cavités de 20 millimètres de diamètre que l'on remplit de brai en poussière. On enfonce dans chaque cavité une baguette pesant 35 grammes, et on chauffe le bloc avec une lampe à pétrole. La température est observée au moyen d'un thermomètre plongeant dans du mercure; la fusion est jugée complète quand la baguette atteint le fond de la cavité.

On peut aussi essayer le brai sec finement pulvérisé en le chauffant au bain-marie dans un petit creuset de laboratoire. On suit les progrès de la fusion en enfonçant dans la masse des aiguilles en fer; les phénomènes que l'on observe sont les suivants :

A 40°, prise en masse;

A 60°, formation d'une masse en fusion dans laquelle on peut enfoncer l'aiguille;

A 70°, étirage en fils courts;

A 75°, étirage en fils d'au moins 0m,50 de longueur;

De 80° à 85°, étirage en fils longs de plus de 1 mètre;

A 90°, fusion complète.

On doit veiller à ce que les essais de réception du brai soient faits à l'usine toujours par le même opérateur, qui doit être au courant de la fabrication et des nécessités auxquelles doit répondre le brai au point de vue de la compression et du chauffage employés.

La majeure partie du brai employé en France est tirée d'Angleterre. Cependant la Compagnie parisienne du Gaz possède une très puissante usine de distillation de goudron; il en existe également à Pantin (Compagnie des Asphaltes de France), à Chasse (Compagnie Paris-Lyon-Méditerranée), à Iwuy (Nord).

Les cours du brai sont assez variables, et leurs fluctuations dépendent en général de celles des cours de la houille et des cours du fret, puisque c'est le brai anglais qui règle le marché.

Suppression du brai par chauffage à haute température ou par compression. — La consommation croissante des brais a amené une augmentation de leur valeur, et on peut craindre leur insuffisance possible dans l'avenir, ainsi qu'une hausse considérable des prix que peut provoquer l'importance des demandes. Les efforts des inventeurs se sont donc portés sur leur suppression complète et sur les moyens d'obtenir des briquettes sans ciments, d'autant plus que la pré-

sence du brai dans les agglomérés est la principale cause de production de fumée. On est arrivé à produire une agglomération par simple compression ; mais ce mode de préparation a l'inconvénient d'exclure les houilles très maigres et les anthracites.

M. Evrard est le premier qui ait essayé d'agglomérer la houille menue à froid et par simple pression. Les briquettes qu'il a obtenues, avec sa machine à piston, présentaient une assez grande solidité et ne se délitaient que très peu dans les foyers, où elles brûlaient à peu près comme le charbon en roche; mais ces briquettes ne résistaient pas au transport.

Les autres essais n'ont pas donné de résultats satisfaisants, surtout au point de vue de la solidité, sauf quand on faisait usage de charbon renfermant des proportions notables de matières volatiles. Dans ce cas, le ciment se trouve en réalité remplacé par les parties goudronneuses du menu lui-même. C'est ainsi que le lignite renferme parfois suffisamment de goudron pour qu'il soit apte à subir ce procédé d'agglomération dans des fours chauffés à 60° ou 70°.

M. Walter Spring, professeur à l'Université de Liège, a reconnu qu'en employant une pression de 6.000 atmosphères on peut donner à la houille en poussière la cohésion et la dureté de la houille en roche. Il est probable qu'en opérant à une température plus élevée, à 200°, on obtiendrait une cohésion très satisfaisante à une pression bien inférieure à 6.000 atmosphères.

Agglomérants divers. — Bien qu'on ait reconnu que le brai s'applique fort bien pour l'agglomération des particules de charbon, on a fait de nombreuses recherches pour trouver un autre corps, moins cher, qui aiderait également à la combustion, mais qui ne répandrait pas d'odeur ni de fumée comme le brai.

Le ciment le plus économique, qui est aussi le premier agglomérant dont on ait fait usage, est la terre glaise. Mais les briquettes ainsi obtenues ne sont guère utilisées que pour les usages domestiques ou les opérations industrielles qui, comme la cuisson de la chaux ou du plâtre, peuvent, sans inconvénient, permettre l'emploi de combustibles secondaires.

Pendant plus d'un demi-siècle, la terre glaise a été le seul ciment employé, bien qu'il ne donnât que des produits d'une très faible ténacité, dont la teneur en cendres était relativement considérable. De nos jours, c'est encore à l'aide de ce ciment primitif qu'on prépare des *boules* pour le chauffage domestique, quand le combustible est du

charbon très maigre ou de l'anthracite friable. Les Chinois font des mélanges analogues avec des charbons anthraciteux pour les usages domestiques. Le charbon mélangé au dixième de son poids de terre glaise, délayée dans l'eau, fournit, par le malaxage, une pâte qu'on transforme en briquettes par le moulage à la main ; ces produits, qui sont simplement séchés à l'air, contiennent 18 à 20 0/0 de cendres.

La chaux (7 à 10 0/0) ajoute des cendres au combustible ; mais elle a l'avantage de le rendre inodore en se combinant au soufre libre en combustion. Aussi a-t-elle été employée avec succès sous forme de lait, qu'on mélange avec le charbon broyé ; mais les briquettes demandent à être ensuite parfaitement séchées au four, puis rendues imperméables à l'eau, et ces deux opérations sont assez coûteuses.

Pour obtenir un bon ciment de magnésie, on mélangera 30 parties de chlorure de magnésium à 45 0/0, 30 parties d'oxyde de magnésium à 93 0/0 et 60 parties d'eau. Le charbon est mélangé à froid avec la magnésie à sec ; le chlorure est ensuite dissous dans l'eau et ajouté au combustible par un malaxage complet. Le ciment de magnésie à la dose de 5 0/0 donne des briquettes très dures, mais augmente de 2,5 0/0 la teneur en cendres ; au bout de six à dix heures, les briquettes au ciment de magnésie sont suffisamment solides pour être manutentionnées sans inconvénient et mises en cale. Le ciment magnésien est peu coûteux.

Les autres matières qui ont été successivement employées pour agglomérer les charbons menus dans les fabriques de briquettes sont variées. Nous citerons entre autres les ciments suivants : asphalte, coaltar, dextrine, sang, farines avariées ou non, graisse animale et végétale, substances gélatineuses, magnésie, lichens, alun, résine, mélasse, décoctions mucilagineuses de racines et de plantes entières, azotate de potassium, huile, pulpe de papier, plâtre de Paris ou gypse, sciure de bois, silicate de sodium, amidon, soufre et savon, pulpe de bois, gutta-percha.

On emploie, pour 1 tonne de menu, $3^{kg},5$ d'amidon de pomme de terre, 28 grammes de créosote, et 50 litres d'eau. Avec l'amidon de farine, la proportion d'eau est de 91 litres par tonne de menu.

L'amidon mis dans de l'eau chaude, surtout en présence d'une faible quantité d'acide sulfurique, devient visqueux. Les farines de riz avariées, les pommes de terre, certaines racines comme le Cetraria Islandica, contiennent de l'amidon et peuvent être utilisées dans le but dont il s'agit.

John Piddington prit le premier un brevet pour ce procédé en 1858 ; il employait 16 kilogrammes de farine et 8 0/0 d'eau par tonne de briquettes. Celles-ci devaient être chauffées pour acquérir assez de dureté. En ajoutant à la farine un peu de plâtre ou de brai gras, ce chauffage devenait inutile.

L'albumine végétale ou animale est peu employée. Certaines plantes en état de décomposition, ainsi que la cellulose, donnent des briquettes très dures, mais sujettes à absorber rapidement l'humidité. On peut prévenir cet état fâcheux par l'addition de 2 0/0 de brai.

Les corps organiques énumérés ci-dessus, qui n'ajoutent pas de matières incombustibles, qui n'ont aucune odeur et qui ne produisent pas de fumée, pourraient trouver avantageusement leur place comme agglomérants dans les contrées où le brai est trop cher ou bien le climat trop chaud. Mais les briquettes ainsi fabriquées demandent un séchage artificiel, et une immersion dans un liquide spécial qui les mette à l'abri de l'humidité de l'air. En résumé, les fécules, les mélasses et autres matières gélatineuses ne valent pas le brai, quoique celui-ci soit d'un prix de revient plus élevé.

Dans les contrées tropicales, les briquettes au goudron se collent et se ramollissent. On a proposé l'emploi du silicate de soude (0,75 à 1 0/0) qui donne de la cohésion après un séchage naturel de 5 à 8 jours. On emploiera aussi un mélange de silicate de soude et de silicate de potasse.

On a également essayé à Comorn, en Hongrie, d'employer comme agglomérant le bisulfite de calcium provenant de fabriques de pâte de bois pour papier.

La pétrifite, qui est un produit artificiel de composition inconnue, a été employée en Angleterre et en Westphalie. Elle a l'inconvénient de porter à un mois la période de séchage des briquettes; les résultats ne paraissent pas devoir permettre d'en étendre l'emploi.

La mélasse, qui ne contient que 10 0/0 de cendres et donne à la calcination un coke assez résistant, peut servir, mélangée avec de l'eau, à fabriquer des briquettes de charbon maigre tenant bien au feu. La dose de 1 1/2 0/0 préconisée par l'inventeur est bien faible pour que l'on puisse espérer obtenir une cohésion comparable à celle que donne le brai; de plus, la mélasse coûte trop cher pour que ce procédé puisse prendre de l'extension.

Les briquettes agglomérées à la mélasse étant très hygroscopiques, on est obligé d'y ajouter de l'huile de lin et de les sécher à chaud pour leur donner de la dureté.

Le pouvoir agglomérant des mélasses est dû principalement à la pectine, et aussi, mais dans une moindre mesure, au sucre, ainsi, les mélasses brutes et celles qui n'ont pas été soumises à l'osmose, sont de bons agglomérants. Le prix de ces matières en Allemagne et en Autriche en permet l'emploi et donne une sérieuse économie dans la fabrication des briquettes. Le procédé est très simple, mais les briquettes doivent être séchées pour devenir assez dures afin d'en permettre la manipulation. Il devient toutefois préférable d'employer le brai sec dès que son prix est la moitié de celui des mélasses brutes.

L'oxydation des goudrons faite dans certaines conditions rend ceux-ci combinables aux alcalis et aux alcalino-terreux, c'est-à-dire qu'ils se comportent, en présence des alcalis, comme de véritables acides gras et forment des savons.

On a pensé à utiliser les goudrons ainsi traités pour la fabrication des agglomérés de houille. Le brai employé pour la fabrication des briquettes agit par simple réaction physique, puisque liquéfié par la chaleur il est diffusé dans la pâte par la compression ; en se refroidissant, il reprend son état solide, enrobe mécaniquement chaque grain de houille et colle les grains. C'est donc sur un faible écart de température qu'est basé le changement d'état.

L'emploi du goudron oxydé ne comporte pas de changements dans la façon de procéder avec le brai. Au lieu de doser du brai concassé solide, on dose, au moyen d'une pompe, le goudron oxydé qu'on fait arriver sur le charbon à agglomérer, après qu'on a ajouté à ce dernier la quantité d'alcali voulue.

En ce qui concerne les procédés nouveaux employés pour l'agglomération des combustibles menus, nous citerons encore la fabrication des briquettes de charbon ou de lignite agglomérées avec du naphte ou des résidus de distillation du naphte (mazouts) (*procédé Hennebutte*).

Ces matières subissent avant fabrication une préparation spéciale qui leur donne les propriétés nécessaires pour souder légèrement, rien qu'en pressant le mélange dans la main, les parties fines du charbon ordinaire ou du lignite que l'on veut agglomérer.

Lorsque ce mélange est comprimé par une presse ordinaire à

moule fermé, on obtient des briquettes d'une fabrication irréprochable.

Les briquettes fabriquées par ce procédé ont 75 à 80 0/0 de cohésion ; elles sont presque complètement imperméables à cause de leur forte cohésion et aussi parce que la matière qui les agglomère est un corps gras.

Leur qualité ne se modifie pas, même lorsqu'elles sont exposées au soleil et à toutes les intempéries, car l'agglomérant a subi une préparation, qui est une température très élevée à environ 300°C.

On peut employer dans cette fabrication de 9 à 15 0/0 de cet agglomérant, selon la qualité des briquettes que l'on veut produire.

Le procédé Conti-Lévy pour la fabrication des agglomérés, dits magnésio-briquettes, consiste à mélanger à froid des poussiers de charbon avec des doses déterminées de magnésie et de chlorure de magnésium. On emprisonne ainsi les grains de charbon dans un réseau d'oxychlorure de magnésium, corps très dur qui se forme dans les vingt-quatre heures. Au moment de la combustion, cet oxychlorure se décompose en ses éléments. L'emploi de ce procédé augmente de 1 à 1,5 0/0 les cendres et de 2,5 0/0 les matières volatiles. La proportion d'oxychlorure à employer est de 35 kilogrammes par tonne de charbon en marchant avec une pression de 250 kilogrammes au centimètre carré. La briquette brûle avec une flamme brillante et sans fumée.

Des briquettes ont été fabriquées avec des débris de coke dans des usines à gaz, à Paris, en mélangeant 10 0/0 de brai avec des débris de coke. Aux usines à gaz de Perrache, à Lyon, les débris de coke étaient mélangés avec 7 0/0 de brai, le poids des briquettes étant de 4 kilogrammes chacune. Les débris de coke étaient, dans chaque cas, concassés et bien lavés avant le mélange. On a fait des essais pour agglomérer du poussier de charbon et du coke menu simplement par l'effet combiné de la chaleur et de la pression ; mais on n'a pu y réussir avec les charbons anglais.

Agglomérés au brai. — La cohésion, qui est la qualité essentielle que l'on doit rechercher pour les briquettes, dépend de plusieurs éléments. Elle dépend de la qualité du brai d'abord, de la proportion du brai mélangé au combustible, enfin de la pression à laquelle est comprimé le mélange.

Influence de la qualité du brai. — La qualité du brai employé est une condition essentielle à réaliser pour obtenir une cohésion satis-

faisante. La cohésion diminue immédiatement de 50 0/0 quand on emploie du mauvais brai; aussi faut-il se renseigner chaque jour sur la qualité du brai que l'on passe dans la fabrication pour pouvoir augmenter de suite la proportion du brai, si la qualité baisse; cette augmentation atteint souvent 1/2 ou même 1 0/0.

C'est là un inconvénient de la marche au brai sec, qui exige une surveillance de tous les instants, si l'on veut maintenir la qualité du produit constante. Au contraire, la marche au brai fondu présente l'avantage qu'on peut être absolument sûr de la qualité du brai, ce qui assure une marche constante de la fabrication. De plus, en employant le brai fondu, on obtient un mélange très intime avec la pâte de charbon, ce qui procure une économie appréciable de matière agglomérante. En effet, dans la plupart des usines marchant au brai fondu, on ne consomme que 5 0/0 de brai, tandis que la proportion minimum de brai sec à employer pour obtenir une cohésion équivalente serait supérieure à 6 0/0.

Cependant toutes les usines du Nord de la France et de Belgique marchent au brai sec, parce qu'elles fabriquent des produits de premier choix à forte cohésion et qu'elles ne pourraient obtenir une cohésion suffisante en employant seulement 5 0/0 de brai fondu comme dans le Centre de la France. D'autre part, ces usines traitent surtout des charbons maigres ou demi-gras, qu'il faut mélanger avec une forte proportion de brai pour que les briquettes obtenues tiennent bien au feu et ne se transforment pas, dans le foyer, en petits morceaux ou en poussière. Pour satisfaire à cette condition, il faut que la proportion de matières volatiles atteigne 18 0/0. On est donc obligé d'introduire dans la pâte au moins 8 0/0 de brai sec, et l'économie qui résulterait de l'emploi du brai fondu n'atteindrait même pas une unité. Les clients préfèrent d'ailleurs les briquettes préparées au brai sec, parce que le goudron que l'on introduit en mélange, quand on marche au brai fondu, donne une fumée intense et occasionne au chauffeur un picotement aux yeux très désagréable.

Toutefois, pour rendre plus régulière la composition du brai sec, on en corrige la qualité en le faisant fondre avec du goudron; les meilleurs résultats ont été obtenus avec du goudron débarrassé de ses huiles légères. La fusion s'opère dans une cuve cylindrique verticale pouvant contenir à la fois 6.000 kilogrammes et entourée d'une double enveloppe de vapeur à la pression de 4 ou 5 kilogrammes; cette cuve, qui a $1^m,80$ de diamètre et $4^m,30$ de hauteur, contient une hélice

de $0^m,55$ de diamètre placée dans son axe et mue mécaniquement. L'hélice est entourée d'une enveloppe qui a pour but de l'empêcher d'agir sur le brai fondu ; la matière est ainsi animée d'un mouvement de rotation continu, et les morceaux de brai fondent plus rapidement.

Le brai, avant son introduction dans la chaudière, est concassé grossièrement au moyen d'un broyeur à noix placé sur l'arbre de l'hélice ; un robinet, ménagé au bas de la cuve, permet de le faire écouler. Ce travail dure de six à huit heures, par charges de 6.000 kilogrammes, avec deux ouvriers de jour et deux de nuit. L'opération coûte 1 fr. 50 par tonne de brai.

La dose de goudron introduite est, en général, de 15 0/0 ; cependant on a pu introduire des quantités plus grandes, sans que l'on ait constaté une diminution de qualité des briquettes. Le tableau suivant permet de se rendre compte, d'après des essais faits par M. Rossigneux, de l'influence des additions de goudron sur la qualité des mélanges.

	BRAI SEC	BRAI à 9 0/0 DE GOUDRON	BRAI à 17 0/0	BRAI à 25 0/0
Ductile à	75°	70°	50°	40°
Pâteux à	95°	90°	60°	55°
Liquide à	110°	100°	80°	60°

On a constaté que la briquette fabriquée avec des menus et du brai sec présente une cohésion supérieure à celle de la houille et à celle du brai sec. A Anzin, on a fait des essais sur des briquettes fabriquées avec des houilles en grains ayant une cohésion variant de 20 à 35 0/0 mélangées à 9 0/0 de brai sec dont la cohésion était de 28 à 29 0/0 ; ces briquettes donnaient couramment 52 0/0 de cohésion. Les résultats auraient été encore plus nets avec des charbons anglais de Cardiff (cohésion : 42 à 47 0/0) ou de Newcastle (50 à 60 0/0). On peut s'expliquer facilement ce fait en remarquant que les fragments de charbon de 500 grammes introduits dans le tambour d'essai présentent des faces de clivage qui en facilitent beaucoup la rupture ; la houille en grains, dans laquelle ces faces de clivage n'existent plus, présente une résistance très supérieure à celle des gros morceaux. Si l'on essayait la

houille à l'état de grains, on trouverait pour la briquette une résistance très inférieure à celle du charbon.

Dans une briquette de bonne qualité, la cohésion dépend de celle du charbon, tandis que la résistance à l'écrasement dépend de celle du brai sec. En employant du charbon à 25 kilogrammes de résistance par centimètre carré et du brai sec à 75 0/0 de résistance (50 0/0 de coke), on peut obtenir de la briquette offrant une résistance de 40 à 42 kilogrammes.

Si l'on considère du brai gras et du charbon en gros morceaux, on obtiendra des briquettes dont la résistance sera supérieure à la fois à celle du brai et à celle du gros charbon, car du brai légèrement gras à 45 0/0 de coke s'est aplati sans se pulvériser sous une pression de 40 kilogrammes, à la température de 25°.

Influence de la proportion de brai. — La solidité des briquettes augmente jusqu'à une limite maximum avec la quantité de brai introduite dans la pâte. Étant donné le prix élevé du brai, on n'atteint jamais la proportion de brai pour laquelle la solidité des briquettes est maximum, et on s'arrête à la quantité qui permet d'obtenir les qualités requises par l'usage auquel le combustible est destiné.

Avec des charbons essayés à Anzin, la cohésion est tout à fait nulle, tant que la proportion de brai est inférieure à 4 0/0. La cohésion, qui croît très peu à partir de 9 0/0 de brai sec, passe par un maximum, qui est de 72 0/0, pour décroître ensuite et tomber enfin à 28,5 0/0, c'est-à-dire à la cohésion du brai pur. Dans des essais analogues, effectués aux mines de Portes et Sénéchas avec une presse Révollier, on a également constaté qu'au delà de 9 0/0 de brai sec la cohésion croissait très peu.

Influence de la pression. — La pression a une grande influence sur la qualité des briquettes obtenues : elle agit par sa durée et par son intensité.

Les charbons soumis à l'agglomération sont, en général, des houilles lavées et, par conséquent, très chargées d'humidité. Quand la proportion d'eau contenue dans la houille dépasse 4 à 5 0/0, elle constitue une gêne pour obtenir une bonne compression.

La proportion d'eau que l'on peut admettre dans la pâte dépend de la durée de la pression que permet d'obtenir la presse à agglomérer dont on dispose. Avec les presses qui donnent une pression d'une durée relativement considérable, on peut expulser facilement l'eau et

atteindre jusqu'à 10 0/0 d'eau. Cependant certaines machines ne fonctionnent pas bien et fournissent de mauvais produits, quand la pâte contient trop d'eau. La presse Biétrix, qui peut développer presque instantanément une pression considérable, donne de bons produits; mais la compression dure trop peu de temps pour que toute l'eau soit expulsée. L'eau qui reste après compression doit alors être expulsée par un séchage énergique.

D'ailleurs, on a reconnu qu'il y avait intérêt à ne pas chasser complètement l'eau, même avec les machines à compression brusque, et à en laisser subsister un excès de 1 1/2 à 3 0/0 dans la pâte. En effet, pour que la compression s'effectue facilement et dans de bonnes conditions, il faut que la pâte soit suffisamment plastique. Avec de la pâte sèche, on n'obtient que des briquettes cassantes à très faible cohésion. La présence d'une certaine quantité d'eau a également pour résultat d'augmenter la cohésion à chaud de la briquette au sortir du moule. Toutefois, quand on comprime de la pâte trop chaude à une température supérieure à 90°, on peut emprisonner de la vapeur d'eau qui se détend au moment du démoulage en produisant des boursouflures et des cassures.

En somme, il faut opérer soigneusement le séchage de la pâte, en y laissant subsister la quantité d'humidité convenable. L'intensité de la compression est d'ailleurs l'élément le plus important, car l'élévation de la pression favorise la répartition égale du brai dans la masse, l'expulsion de l'air et de l'eau, ainsi que le rapprochement parfait des grains.

CHAPITRE XVII

OUTILLAGE DES USINES A AGGLOMÉRER

Broyage du charbon. — Séchage du charbon. — Essoreuses. — Sécheurs. — Sécheurs plats. — Sécheurs cylindriques. — Sécheurs en forme de tours. — Fours de séchage. — *Broyage du brai.* — Cuves à brai fondu. — Monte-brai. — Dosage du brai. — *Appareils de malaxage.* — Malaxeurs verticaux. — Malaxeurs horizontaux. — *Fours de chauffage de la pâte.* — Four Marsais. — Four Biétrix. — Chargement des briquettes. — Générateurs de vapeur. — Force motrice. — *Exemples d'installation.* — Atelier Middleton. — Ateliers de Blanzy. — Prix de revient.

Nous allons examiner successivement les appareils que comprend une usine à agglomérer. La nature et le nombre de ces appareils dépend de la qualité et de l'importance du tonnage des combustibles traités dans chaque usine.

D'une manière générale, une usine à agglomérer comprend les appareils suivants :

1° Un broyeur à charbon, quand les houilles traitées ne sont pas à l'état de finesse voulu pour être introduites telles quelles dans le mélange. Si, au contraire, l'usine est alimentée de fines, le broyeur est inutile; mais il y a lieu d'installer des appareils de séchage, car les fines, qui sortent du lavoir, sont toujours trop chargées d'humidité pour être passées directement dans la fabrication;

2° Suivant que l'usine marche au brai sec ou au brai fondu, on aura à prévoir un broyeur de brai ou des chaudières de fusion du brai;

3° Le dosage du mélange en brai et en charbon doit être opéré avec beaucoup de soin au moyen d'appareils de mesurage;

4° Le charbon et le brai, une fois préparés et dosés, doivent ensuite être mélangés intimement et portés à la température voulue au moyen de mélangeurs et d'appareils de chauffage;

5° Le mélange chaud ou pâte est alors soumis à l'action de la presse; il existe un grand nombre de genres de presses; nous examinerons

dans deux chapitres spéciaux les principaux modèles des presses en usage et signalerons leurs avantages ou leurs inconvénients;

6° Pour assurer le transport des matières avec le minimum de frais, il y aura aux divers niveaux de l'usine une série de norias, tandis que, au sortir de la presse, les briquettes tombent en général sur une toile sans fin où elles sont prises après refroidissement pour être chargées en wagon ou mises en stock dans l'usine;

7° Nous aurons enfin quelques mots à dire au sujet de la production de la force motrice, qui est fournie par une machine à vapeur alimentée par des chaudières produisant également la vapeur nécessaire aux réchauffeurs.

Broyage du charbon. — Le broyage du charbon est nécessaire pour les deux motifs suivants :

1° Réduire les particules trop grosses à une dimension convenable;

2° Assurer un mélange parfait du charbon et de la matière agglomérante.

Plus la houille est fine, plus on devra consommer de brai pour obtenir des briquettes présentant une cohésion suffisante. Il est évident qu'avec de la houille très finement pulvérisée et beaucoup de brai, on obtiendrait des briquettes très résistantes; mais on atteindrait un prix de revient très élevé, car, pour agglomérer dans de bonnes conditions des schlamms de lavage, il faut au moins 20 0/0 de brai. On doit donc limiter, dans une certaine mesure, le degré de pulvérisation de la houille et, de plus, tenir compte du degré de résistance des grains de charbon que l'on soumet à l'agglomération sous l'influence des pressions élevées. D'ailleurs, plus le charbon est gros, moins est grande la surface totale de grains qu'il faut enrober; on obtiendra donc de bons résultats avec une houille contenant des grains et une quantité de poussier suffisante pour combler aussi complètement que possible les interstices des grains. On peut admettre, en général, que, pour les charbons durs, la meilleure condition de marche correspond à un degré de division tel que le poids de l'unité de volume soit maximum. Quand il s'agit, au contraire, de charbons tendres, il est nécessaire d'obtenir des grains assez petits pour qu'ils aient une résistance suffisante. Aussi, passe-t-on au broyeur tous les charbons tendres destinés à l'agglomération, quand ils sont criblés à une maille dépassant 8 millimètres.

Dans le broyage, l'important est de ne pas faire de broyage inutile, c'est-à-dire de ne pas briser les grains solides qui auraient parfaitement résisté à la compression dans le moule. L'objectif du broyage est de donner aux grains un volume qui leur assure, à défaut de la résistance maximum à l'écrasement, une résistance supérieure à la pression à laquelle ils auront à résister dans le moule.

Les broyeurs à cylindres ont le désavantage de broyer la matière trop uniformément en ce sens qu'ils réduiraient en poudre des grains durs qu'il est préférable de conserver, car ces grains ajoutent à la résistance à la compression.

Le broyeur Carr (*fig.* 136 et 137), qui agit par choc, ne broie que les grains dont il est utile de réduire la dimension ; le choc étant le même pour tous les morceaux, les grains durs résistent, tandis que les grains friables subissent une diminution de dimension qui augmente leur résistance.

Voici les dimensions d'un appareil employé assez fréquemment :

Diamètre extérieur	1m,20
Diamètre de l'enveloppe en tôle	1 ,60
Largeur du broyeur	0 ,30
Largeur de l'enveloppe	0 ,46
Diamètre de l'axe	0 ,11
Poids de l'appareil	2.500kg

Le broyeur Carr est constitué de la façon suivante : des broches ou barreaux d'acier disposées en cercles concentriques, sont rivées sur des plateaux en acier, et réunies à l'autre extrémité par des règles en fer forgé ; elles forment ainsi, suivant le type de l'appareil, 4 ou 6 disques ou tambours constituant deux cages fixées sur les arbres moteurs. Ces cages s'emboîtent l'une dans l'autre, de manière que les tambours de la première puissent tourner dans les intervalles des tambours de la seconde. Les deux arbres moteurs reçoivent, en sens inverse l'un de l'autre, un mouvement de rotation très rapide, au moyen de deux courroies dont l'une est droite et l'autre croisée. Une enveloppe en tôle, facilement démontable, recouvre complètement la partie supérieure de l'appareil.

Il est alors facile de comprendre la marche de l'opération. La matière à traiter est introduite d'une façon continue par une trémie disposée au centre de l'enveloppe. Projetée vers l'extérieur sous l'action de la force centrifuge, elle rencontre successivement les différents tambours qui, tournant en sens inverse, lui font suivre un che-

min en zigzag, ainsi que l'indiquent schématiquement les flèches de la figure. Le broyage est ainsi produit, d'une part, par les chocs reçus au contact des broches, d'autre part par le frottement qu'exercent entre eux les morceaux projetés avec force les uns contre les autres.

Avec un broyeur Carr de $1^m,20$ de diamètre et de $0^m,38$ de largeur tournant à la vitesse de 300 tours, on peut broyer 15 tonnes à l'heure. A cette vitesse, qui est un maximum pour le traitement des houilles destinées à l'agglomération, l'appareil absorbe une force motrice de 25 chevaux. Cependant, dans plusieurs usines montées par la mai-

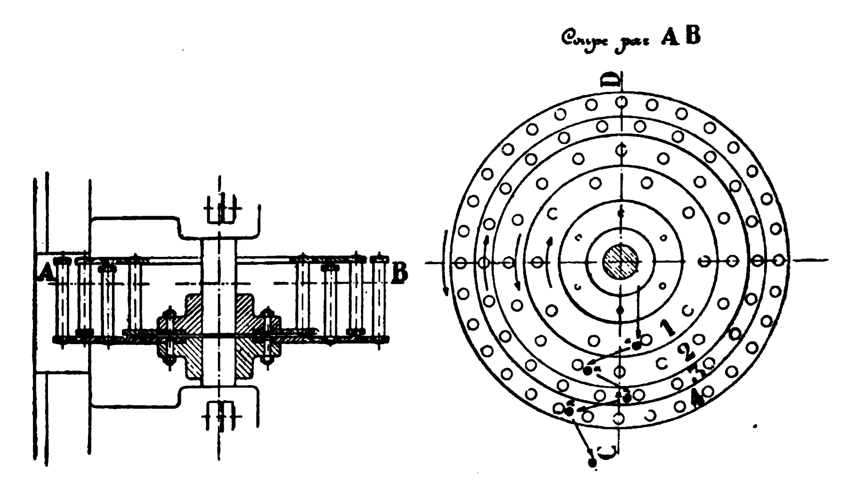


Fig. 136 et 137. — Broyeur Carr.

son Biétrix, les broyeurs, de $0^m,75$ de diamètre, tournent à 550 tours et passent en douze heures 70 tonnes de charbon mélangé de brai sec dont ils servent à parfaire le mélange.

Le broyeur Schœller et Vinsonneau, qui dérive d'un principe analogue à celui du broyeur Carr, est comme celui-ci un appareil à choc. Dans le broyeur Carr, les organes sur lesquels se produit le choc sont les broches de deux plateaux mobiles. Ici ce sont des marteaux qui frappent à grande vitesse et à la volée sur la matière à broyer.

On a voulu en cela imiter le travail de l'homme quand, à l'aide d'une massette à manche flexible, il casse les gros blocs en menus fragments. On a amplifié ce travail en plaçant plusieurs marteaux sur le même axe et en animant ces marteaux d'une grande vitesse.

On a cherché aussi à les rendre flexibles tout comme la massette est flexible grâce à l'élasticité de mouvement de l'avant-bras du travailleur.

A cet effet, les marteaux qui sont en acier chromé sont articulés sur leur axe et mobiles à leur extrémité de frappe. Si la résistance est trop grande par suite d'une accumulation de matière dans la caisse du broyeur, les marteaux reviennent en arrière, en oscillant sur leur axe. Ils reprennent leur position grâce à la force vive du mouvement, dès que le surcroît de résistance a cessé.

L'appareil tourne à grande vitesse; il fait 800 à 1.500 tours à la minute suivant la dureté de combustible traité et la nature du grain à obtenir. A cette vitesse, les marteaux broient la matière et la classent en même temps, séparant et évacuant les parties fines vers une grille ou une tôle classificatrice et relevant les matières non complètement broyées pour les broyer à nouveau.

Le débit varie, bien entendu, avec le nombre des marteaux, avec la vitesse également. Pour un appareil à 4 marteaux, on obtient 500 kilogrammes à l'heure; à 8 marteaux, on broie 1.500 kilogrammes à l'heure; à 12 marteaux, 3.000 kilogrammes et, à 16 marteaux, 6.000 kilogrammes par heure. Il y aurait même un modèle de 16 marteaux qui produirait 10.000 kilogrammes à l'heure, ce qui est, comme le voit, une production comparable à celle du broyeur Carr.

Un broyeur Schœller et Vinsonneau de 16 marteaux, c'est-à-dire du plus grand débit, exige 7 à 8 chevaux de force motrice, alors que, dans les mêmes conditions, le broyeur Carr absorbe 20 à 25 chevaux.

Séchage du charbon. — Avant de passer à l'usine d'agglomération, le charbon doit être parfaitement nettoyé et séparé de toutes matières étrangères; plus le charbon est propre, meilleure est la qualité de la briquette produite. En Grande-Bretagne, jusque très récemment, le charbon a été simplement criblé; mais, à présent, le lavage est devenu plus général et tend de plus en plus à se répandre par suite de l'approfondissement des mines qui donnent des charbons de plus en plus sales.

Après lavage, le charbon passe dans les tours d'égouttage qui ont été décrites au chapitre IV, du LAVAGE DE LA HOUILLE. Toutefois, comme nous l'avons déjà dit, il reste toujours une certaine quantité d'eau, et cette eau devra être expulsée, soit à l'aide d'essoreuses ou de sécheurs, soit mieux encore dans des fours.

Essoreuses. — Parmi les essoreuses les plus répandues dans ces dernières années, nous citerons l'appareil Hanrez qui consiste en un cylindre de 1m,20 de diamètre et de 0m,80 de longueur pouvant tourner autour d'un axe horizontal ou vertical; ce cylindre est recouvert d'une feuille de cuivre de 3 millimètres d'épaisseur formant crible, dans laquelle sont percés des trous de 1/2 millimètre de diamètre. A l'intérieur de l'appareil tourne une vis ajustée avec un jeu très réduit sur la surface interne du cylindre ; la vitesse relative de la vis est de 5 tours par minute. Les menus à sécher pénètrent par une des extrémités du cylindre et sortent par l'autre, poussés par la vis.

L'essoreuse qui tourne à 350 tours par minute absorbe une force motrice de 6 chevaux environ et peut débiter 50 tonnes de houille menue sèche, par poste de douze heures. Le charbon ne séjourne, en effet, qu'environ une minute à l'intérieur de la tôle perforée sur laquelle il forme une couche de 3 à 5 centimètres d'épaisseur.

On a remarqué que le traitement de la houille menue à l'essoreuse équivaut à un égouttage en couche de 2 mètres d'épaisseur prolongé pendant seize heures. On peut, d'ailleurs, se rendre compte de l'exactitude de ce fait en tenant compte de ce que l'efficacité de l'égouttage a lieu en raison inverse de l'épaisseur de la couche de charbon et proportionnellement à l'intensité de la force centrifuge qui équivaut à vingt fois l'action de la pesanteur, pour une essoreuse marchant à la vitesse de 300 tours par minute.

Sécheurs. — Les sécheurs artificiels peuvent être divisés en trois catégories : les sécheurs plats, les sécheurs cylindriques, et les sécheurs en forme de tour.

Sécheurs plats. — Il existe différents genres de ce type de sécheur, mais le principe du fonctionnement est le même pour tous.

L'un d'eux, très simple et efficace, consiste en une série de seize à vingt tables circulaires horizontales ayant 5 à 6 mètres de diamètre. Ces tables, en tôle ou quelquefois en fonte, sont munies à leur partie inférieure de chambres creuses ou d'enveloppes de vapeur où la vapeur est admise par deux colonnes. Deux autres colonnes de vapeur servent à la sortie de la vapeur et de l'eau condensée des enveloppes de vapeur. Cette sortie s'effectue à travers des ouvertures de l'arbre central qu'on fait creux dans ce but.

Pour faire passer le charbon d'une table à l'autre, les tables sont pourvues de trous, placés alternativement au centre et à la périphérie. Sur chaque table, sont montées un certain nombre de raclettes,

avec de larges racloirs pour enlever le charbon; les raclettes sont fixées sur l'arbre central qui les fait tourner, et les racloirs sont disposés de telle sorte que, sur une plaque, le mouvement des raclettes ramène le charbon du centre à la circonférence de la table, et, sur la suivante, de la circonférence au centre. Dans chaque cas, le charbon passe sur la surface de toutes les plaques jusqu'à ce qu'il gagne le fond d'où il passe dans un élévateur. La température peut être réglée de telle sorte que le charbon ayant passé dans le sécheur contienne seulement le pourcentage d'humidité nécessaire.

Ces sécheurs sont quelquefois enfermés dans une enveloppe en briques ou en tôle, et sont munis à leur partie supérieure de petites ouvertures pour permettre l'évacuation de la vapeur et l'admission de l'air. Dans de tels appareils, on obtient un rendement de 20 0/0 au moins. Un sécheur à 17 tables de ce modèle fournirait en vingt-quatre heures 27 tonnes de charbon contenant 20 0/0 d'humidité et provenant d'un charbon brut à 46 ou 50 0/0 d'humidité. Généralement, on emploie, pour alimenter les enveloppes de vapeur, la vapeur d'échappement de la machine.

Sécheurs cylindriques. — Les sécheurs cylindriques se composent de cylindres en tôle de $1^{m},50$ à 2 mètres de diamètre et de 5 à 6 mètres de longueur placés dans une position inclinée, l'inclinaison et la longueur du cylindre étant réglées par la quantité d'humidité à enlever au charbon. A l'intérieur de ces cylindres sont disposés environ 200 tubes, à travers lesquels le charbon passe. Un autre sécheur cylindrique consiste en un cylindre en tôle d'environ $1^{m},50$ de diamètre et 7 mètres de longueur à travers lequel passe un arbre sur lequel est fixée une vis transporteuse munie de palettes; la vis fait passer le charbon au travers du cylindre et les palettes remuent le charbon pour exposer les parties humides à la chaleur. Le cylindre est entouré d'un massif de maçonnerie muni d'une grille de foyer du côté où le charbon est introduit; de sorte que la chaleur est la plus considérable du côté où le charbon entre, car c'est là qu'il contient le plus d'humidité et que la plus grande quantité de chaleur est nécessaire.

Le sécheur cylindrique Schulz consiste en deux cônes creux perforés, accolés par leur sommet; la vapeur (venant directement d'une chaudière ou de l'échappement d'une machine à vapeur) est admise dans le cône à son extrémité supérieure, à travers les trous percés dans ce cône. Après avoir contourné les tuyaux, elle entre dans le

cône inférieur et passe dans la cheminée. Les cônes sont entourés de tuyaux remplis du charbon à sécher qu'on verse par une trémie supérieure. Le cylindre rempli de vapeur tourne lentement. Ce sécheur est à recommander spécialement pour le lignite. Il peut fournir de 35 à 40 tonnes de combustible séché par journée de dix heures de travail.

Sécheurs en forme de tours. — On les appelle quelquefois sécheurs Jacobi. La caractéristique de ces appareils est que le charbon est séché à la fois par l'air et la vapeur ; l'action combinée de cet air chauffé et de la vapeur des tuyaux sèche le charbon au fur et à mesure de son passage à travers les chambres. Les cloisons et les chambres métalliques sont inclinées de façon à permettre au charbon de glisser d'une chambre à la chambre du dessous d'une manière continue. L'air chaud vient seul en contact avec le charbon pendant qu'il traverse les cloisons et les chambres.

La température de l'air chaud est de 60° à 70°. La place occupée par un de ces sécheurs mesure environ 4 mètres de longueur, 5 mètres de hauteur et 60 à 75 centimètres de largeur. Les tours sont disposées de bien des manières différentes, et les tuyaux sont quelquefois placés verticalement, au lieu d'être horizontaux.

Fours de séchage. — On a essayé divers modèles de fours pour le séchage des menus, verticaux ou horizontaux, fixes ou mobiles.

Les fours sont spécialement recommandés pour les charbons de nature semi-bitumineuse, parce que ces charbons deviennent mous, et alors le brai est ajouté immédiatement avant ou immédiatement après que le charbon a traversé le four, ce qui réduit la quantité de brai nécessaire.

Le four vertical fixe comporte un cylindre en tôle à l'intérieur duquel le charbon est poussé en cascades sur une série de gradins, au moyen de raclettes portées par un arbre vertical ; au bas du cylindre se trouve un foyer. La difficulté est de ne pas sécher suffisamment le charbon, si l'on maintient le feu à une allure modérée ; si l'on active trop le feu, le charbon s'enflamme à l'intérieur du cylindre.

Le four tournant de Molières est un four horizontal cylindrique supporté à ses deux extrémités et en son milieu par des couronnes en fonte roulant sur des galets. Le charbon est brassé à l'intérieur par une vis de transport munie d'ailettes. A l'une des extrémités est un foyer dont les flammes lèchent la surface extérieure du four, puis pénètrent à l'intérieur pour sortir par la chemi-

née. Le cylindre est muni d'un fond que traverse la trémie d'arrivée du charbon et le carnau de sortie des fumées.

Le four Delautre est une modification du four tournant de Molières qui vient d'être décrit.

Comme lui, il se compose d'un cylindre horizontal rotatif où les charbons avancent progressivement sous l'effet de palettes. Des gaz chauds circulent en sens inverse des charbons pour assurer le séchage.

Ces gaz, ainsi que la vapeur d'eau qui s'échappe des charbons, sont aspirés par un ventilateur. C'est l'emploi de ce ventilateur qui paraît être l'idée originale du four Delautre.

Avec un four de séchage, on peut, pour des houilles lavées à 6,5 0/0 d'eau en hiver et 5,6 0/0 d'eau en été, abaisser la teneur en humidité de 5 0/0, en consommant 1 tonne de houille, soit 1,65 0/0 du poids des briquettes ; la quantité de houille traitée est de 60 tonnes par poste de dix heures.

Broyage du brai. — Dans beaucoup d'usines, on broie le brai au moyen d'un appareil à noix de $0^m,40$ à $0^m,50$ de diamètre, tournant à la vitesse de 20 à 30 tours par minute, commandé par une courroie avec débrayage, afin d'éviter les avaries que peut amener la présence fréquente dans le brai de corps durs qui résistent à l'action de ce genre de broyeur. Quand on dispose d'un appareil de chauffage perfectionné, il n'est pas nécessaire de pulvériser le brai très finement, et le broyeur à noix suffit. Dans le cas contraire, on doit employer le broyeur à noix comme concasseur et finir le travail au broyeur Carr.

On doit proscire l'emploi, autrefois fréquent, des meules verticales tournant sur une aire en fonte autour d'un axe vertical placé au centre de cette aire. Ces appareils produisent peu et, en été, le brai chaud se comprime sous la meule sans se pulvériser ; même en hiver, il faut cribler le brai au sortir de la meule et repasser tous les morceaux qui ne passent pas au tamis de 3 millimètres.

On doit mettre les broyeurs à l'abri des fours et des autres appareils susceptibles de les échauffer, parce qu'en été surtout le brai sec tend à se coller à l'intérieur des broyeurs dont la marche est alors ralentie ou même complètement arrêtée. On doit mettre autant que possible le dépôt de brai à l'ombre, quand on est forcé de le laisser en plein air, et, en été, il est bon de rentrer dans l'usine la quantité de brai nécessaire à douze heures de marche, en l'arrosant d'eau froide. Le brai est quelquefois tellement mou qu'on

est forcé de le mélanger d'un tiers ou de moitié de houille pulvérisée avant de le faire passer dans le broyeur : dans ce cas, pour ne pas fausser le dosage, il faut tenir compte de cette addition de charbon au moment du mesurage.

Cuves à brai fondu. — On a vu au chapitre précédent qu'il y avait une économie notable à employer du brai fondu qu'on obtient en mélangeant du brai sec et du goudron : ce mélange est porté à la température de fusion, avant d'être incorporé au charbon pulvérisé. Pour éviter l'odeur piquante résultant de l'emploi du brai fondu, odeur qui provient du goudron, il faut n'introduire dans le mélange que le goudron débarrassé de ses huiles légères. De plus, on ne doit employer que du brai sec dont la distillation a été poussée aussi loin que possible pour que la fumée soit complètement inodore.

Chaque presse à agglomérer est desservie par une batterie de cuves de fusion qui peuvent affecter différentes formes. Dans beaucoup d'anciennes usines, on emploie de grandes cuves horizontales avec chauffage direct à la houille, qui ont de 6 à 7 mètres de longueur, 1 à 2 mètres de largeur, 2 mètres à $2^m,50$ de profondeur, et où l'on peut charger 9 à 18 tonnes de mélange comprenant 5 à 6.000 kilogrammes de goudron. On ne doit pas pousser trop rapidement la fusion qui dure de 12 à 20 heures, suivant la contenance des cuves. On peut évaluer la dépense de combustible à environ 3 0/0 de la charge totale. Il faut compter deux cuves de 9.000 kilogrammes pour une machine Biétrix donnant 70 tonnes par poste de dix heures; on vide une des cuves pendant que la fusion s'opère dans l'autre. Il faut avoir soin de maintenir le fond des cuves bien net, en le grattant après chaque opération, car il y reste toujours 200 à 300 kilogrammes de matières infusibles.

Dans des installations plus récentes, on a remplacé les grandes cuves de 20 tonnes employées par la Compagnie Paris-Lyon-Méditerranée, d'abord par des cuves rectangulaires de petite capacité (3 tonnes environ), puis par des réservoirs verticaux munis d'un arbre mélangeur à palette et chauffés par les flammes perdues des fours.

Le brai fondu est envoyé par une pompe dans un réservoir très élevé, d'où il est distribué directement dans les appareils de dosage. Dès que le réservoir est vide, on recharge pour une nouvelle opération. Grâce à l'emploi d'un agitateur mécanique, on peut diminuer

les dimensions de l'appareil et la dépense de goudron, ce qui est très intéressant, puisque, le prix du goudron étant souvent plus élevé que celui du brai, il est indispensable d'en réduire la dose à la quantité strictement nécessaire pour fondre le brai sec dans de bonnes conditions.

Ailleurs, des cuves de 5.000 litres chauffées par la vapeur sont employées pour une production de 50 tonnes en dix heures avec une dépense de 15 à 20 0/0 de goudron. Ces cuves marchent concurremment d'une manière continue, et on y puise simultanément le mélange, sauf quand il est indispensable d'arrêter une des cuves pour les réparations ou nettoyages mensuels. Les cuves sont placées au sommet de l'atelier au-dessus des fours de chauffage. Ce dispositif est économique, car il dispense de l'emploi d'appareils spéciaux pour élever le brai fondu jusqu'au niveau du charbon, auquel il doit être mélangé.

Monte-brai. — On emploie, pour faire circuler le brai entre la cuve de fusion et le mélangeur, des monte-jus à vapeur comportant des réservoirs cylindriques; le brai liquide, soumis à la pression de la vapeur, s'élève par une tuyauterie plongeant dans le réservoir. On doit protéger soigneusement cette tuyauterie contre le froid et lui donner une pente constante vers le réservoir, de façon à permettre aux tuyaux de se vider quand les appareils ne fonctionnent pas, pour éviter qu'ils ne soient obstrués par du brai solidifié à l'intérieur, ce qui arrêterait l'usine. Dans le même ordre d'idées, il est prudent, au moment de la remise en marche des appareils, de réchauffer à l'avance les tuyaux en y introduisant de la vapeur.

Dosage du brai. — Le mélange de brai et de houille doit être dosé avec le plus grand soin pour éviter la baisse de qualité des briquettes et une dépense de brai exagérée. Il faut que la pâte soit d'une homogénéité absolue, pour que la proportion de brai soit constante dans toutes les parties de chaque briquette. Une briquette ne contenant pas assez de brai se délite; si, au contraire, elle en contient trop, elle présente à l'intérieur des poches de brai, elle fume en brûlant et coûte cher à fabriquer.

Le dosage à la main, qui est le plus précis de tous, s'emploie dans les petites installations. On le réalise, en versant sur le sol des brouettes ou des wagonnets de capacité constante que l'on remplit de charbon, et en ajoutant à chaque brouette une caisse de brai. On mélange les matières à la pelle sur le sol ou en les vidant dans une

trémie; le mélange est achevé ensuite par les norias et par les malaxeurs.

Quand on emploie le brai fondu, on mesure exactement le charbon dans un wagonnet et on ajoute le brai dans un seau de contenance déterminée. Le mélange de charbon et de brai est ensuite versé dans une trémie à valve; le tout pénètre alors dans le four de chauffage où le mélange se complète.

On peut aussi employer soit une roue à augets qui puise le liquide dans un réservoir maintenu constamment plein, soit un système d'augets articulés fixés à l'extrémité d'un balancier auquel on imprime un mouvement de va-et-vient et dont un taquet d'arrêt provoque le renversement à chaque oscillation.

La vitesse des augets varie avec celle de la presse, puisqu'il n'y a qu'un seul moteur pour toute l'installation ; on règle la proportion du brai en faisant varier la capacité des augets et leur nombre, ou en donnant la commande par une poulie conique. Il faut maintenir les augets très propres pour que leur capacité ne diminue pas.

Le brai fondu doit être mélangé à du charbon déjà chaud, pour éviter que le brai ne se fige en donnant naissance à des boules qui se mélangeraient mal à la pâte et engorgeraient les augets. On chauffe le charbon, soit au moyen de foyers placés dans le massif où débouche la vis d'amenée, ou encore au moyen d'un cylindre à double enveloppe chauffé par la vapeur d'échappement du moteur et placé au bas de la trémie à charbon.

Dans les usines marchant au brai sec, on emploie, comme appareils de dosage, deux chaînes à godets d'inégale grandeur, une petite pour le brai et une plus grande pour le charbon ; les raclettes, soulevées au passage par chaque godet, enlèvent tout l'excès de matière.

Ce moyen de dosage n'est pas infaillible, car le poids du charbon varie avec son degré d'humidité et son état de broyage ; de plus, le charbon humide encrasse les augets des chaînes et diminue leur capacité. On peut faire varier le dosage, en agissant sur les raclettes pour racler incomplètement les godets; mais l'on perd alors tous les avantages de précision du système.

Dans d'autres installations, on emploie soit des vis sans fin tournant à des vitesses variables, soit des distributeurs cylindriques à compartiments tournant sous les trémies.

Les installations Biétrix sont, en général, munies d'un appareil de

dosage à soles tournantes consistant en un plateau circulaire placé au-dessous d'une trémie recevant soit le charbon, soit le brai, et à une faible distance de cette trémie, de façon que les matières, prenant leur talus naturel d'éboulement, bouchent l'orifice d'écoulement. Une raclette réglable entame le cône de brai ou de charbon placé sur le plateau et, grâce au mouvement de rotation, fait tomber chaque matière dans une proportion que l'on peut facilement régler. Cet appareil, qui est d'un emploi assez commode, donne un dosage constant avec une surveillance très suivie. Il existe deux soles : une pour le brai et une pour le charbon. La vitesse des soles dépend de celle de la presse et varie avec elle, puisque le moteur est commun aux deux appareils. Quand l'appareil de dosage débite trop, on l'arrête de temps à autre pour laisser le malaxeur se vider en partie.

Appareil pour l'essai des brais de la Société des mines de Lens. — Cet appareil se compose d'un cylindre avec enveloppe, ouvert à sa partie supérieure, dans lequel on peut déplacer un piston supporté par une vis passant dans le fond du cylindre qui forme écrou et surmonté d'un chapeau sur lequel agit un levier supportant un contrepoids. Ce contrepoids est constitué par un seau que l'on peut remplir plus ou moins pour le charger. On met dans le cylindre le mélange de charbon et de brai en quantité suffisante pour confectionner une briquette de 25 millimètres de hauteur environ; la vapeur qui circule dans l'enveloppe chauffe le mélange; on soulève le piston à l'aide de la vis de façon à soumettre la briquette en formation à une pression déterminée par le contrepoids. On chasse la briquette fabriquée en agissant sur la vis. On se sert du même appareil pour faire l'essai à l'écrasement en changeant simplement le chapeau et en chargeant le seau sans choc avec de l'eau. On peut avoir ainsi des indications pour le réglage des mélanges.

Appareils de malaxage. — Pour mélanger intimement le brai et le charbon en une pâte homogène et pour chauffer cette pâte à la température voulue avant le passage à la presse, on emploie des malaxeurs verticaux ou horizontaux.

Malaxeurs verticaux. — Les malaxeurs verticaux consistent généralement en un cylindre de tôle en fer avec enveloppe de vapeur; leur diamètre varie de $0^m,80$ à $1^m,20$, et leur hauteur de $1^m,50$ à 3 mètres. Le mélange de charbon et de brai, qui pénètre par le haut de l'appareil, est fortement brassé et poussé vers le bas par des bras horizontaux calés sur un arbre central faisant de 20 à 25 tours par

minute. Le bras inférieur doit être calé très solidement sur l'arbre et à une petite distance du fond du cylindre pour empêcher que la pâte ne s'y attache. Pour rendre le chauffage suffisamment énergique, on injecte directement de la vapeur provenant soit des chaudières, soit de l'échappement des machines par un orifice voisin du fond ou, mieux, par plusieurs orifices placés à diverses hauteurs.

Ce mode de chauffage a l'inconvénient d'introduire dans la pâte une notable proportion d'eau. Car la vapeur des chaudières subit une forte détente au moment où elle arrive sur la pâte, et sa température s'abaisse à 100°. La condensation qui accompagne la détente rend la vapeur humide, et cette vapeur se condense partiellement. Si les malaxeurs sont hauts et étroits, on ajoute à la pâte de 2 à 4 0/0 d'eau.

Théoriquement, on pourrait chauffer 1 tonne de pâte à 100° en employant 4 à 5 kilogrammes de vapeur à 100°, et la quantité d'eau introduite ne dépasserait pas 1/2 0/0. En pratique, on emploie jusqu'à 50 kilogrammes de vapeur par 1.000 kilogrammes de pâte ; on perd donc 90 0/0 de la chaleur contenue dans la vapeur, et on ajoute de 2 à 4 0/0 d'eau à la pâte.

On ne peut éviter cet inconvénient qu'en employant de la vapeur surchauffée, mais il faut alors employer une grande quantité de vapeur. Il faudra 50 kilogrammes de vapeur par tonne pour que la vapeur sorte du maxaleur saturée à 200°, après avoir abandonné sa chaleur de surchauffe.

Les surchauffeurs comportent généralement un jeu de serpentins en fonte ou en fer dans lesquels la vapeur circule et qui sont chauffés par un foyer spécial consommant 1 0/0 de combustible ; la surface de chauffe des tubes doit être d'environ 2 mètres carrés par tonne fabriquée à l'heure. Avec des surchauffeurs trop hauts, on brûle souvent les tubes inférieurs ; avec les appareils très larges, le combustible est mal utilisé. Il faut donc se tenir dans la moyenne. La figure 138 représente un surchauffeur à tuyaux en fonte de 14 mètres carrés de surface, servant à assurer une fabrication de 8 tonnes de pâte à l'heure.

Si l'on chauffe trop la pâte, le brai se volatilise en partie, ce dont on s'aperçoit à l'odeur piquante de la vapeur qui se dégage au-dessus du malaxeur.

Les surchauffeurs sont très employés, car ils permettent de n'augmenter que très peu l'humidité de la pâte pendant son pas-

sage dans le malaxeur; ils sont surtout à recommander avec des charbons très secs ou peu humides, de manière à ne pas introduire plus de 5 0/0 d'eau dans la pâte. Avec des charbons mouillés, ces appareils sont moins avantageux, car ils ne peuvent les sécher suffisamment. Dans beaucoup d'usines, on les emploie comme appareils de secours, et on les fait fonctionner par intermittence, quand on traite des charbons très humides.

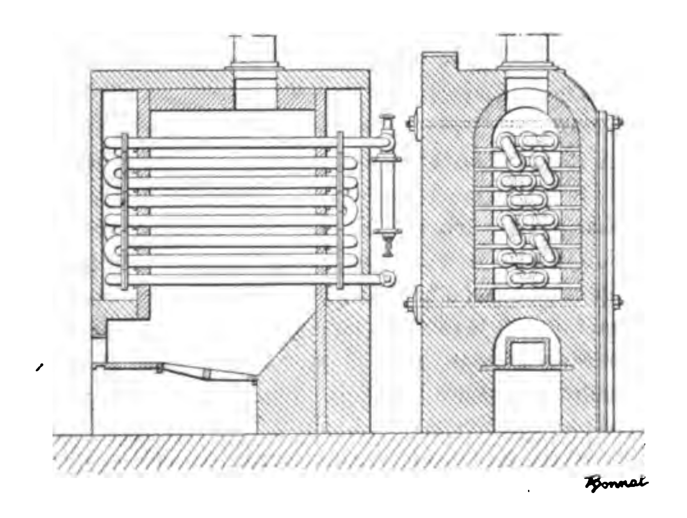


Fig. 138. — Surchauffeur de vapeur.

Malaxeurs horizontaux. — Les malaxeurs horizontaux comportent une auge demi-cylindrique avec ou sans enveloppe de vapeur contenant une vis de transport. On introduit la vapeur par jets sur toute la longueur de l'auge par de petits orifices. On calcule la dimension des malaxeurs horizontaux de manière que la pâte y séjourne dix minutes.

Il se produit à la partie supérieure des malaxeurs cylindriques une évaporation très avantageuse; il ne faut donc pas couvrir l'orifice supérieur de l'appareil, car on constate que l'humidité de la pâte augmente de 1 1/2 0/0. Il est également avantageux, pour sécher la pâte, de la faire circuler dans des auges découvertes avec vis de transport. Quand on emploie des charbons très humides et que la presse est à pression instantanée, tous ces moyens sont insuffisants,

et il faut avoir recours aux fours. Cependant on a obtenu de bons résultats avec une auge horizontale très longue munie d'une enveloppe de vapeur et d'une vis de transport dans laquelle la pâte est en même temps chauffée par la vapeur et soumise à l'action d'un courant d'air énergique fourni par un ventilateur. L'enveloppe de vapeur maintient la pâte chaude, et on obtient ainsi un séchage très efficace.

Fours de chauffage de la pate. — Les principaux fours employés sont le four Marsais et le four Biétrix.

Four Marsais. — Dans le four horizontal à section elliptique Marsais (*fig.* 139), les parties chauffées par la flamme sont en briques réfractaires ; le mélange de charbon et de brai fondu que l'on introduit par charges de 700 à 800 kilogrammes est brassé par des palettes montées sur un arbre horizontal. On commence par chauffer la pâte pendant un quart d'heure ou plus, suivant son degré d'humidité, en tenant ouvert le registre inférieur qui est commandé par une vis mue mécaniquement, et la charge tombe dans la trémie; on referme ensuite le registre au-dessus duquel on dispose de suite une nouvelle charge. Le four est chauffé à la houille à la fois par transmission à travers les briques réfractaires et par contact direct avec les flammes.

Le four Marsais absorbe une force motrice de 8 chevaux environ et consomme en combustible 7 0/0 du poids des briquettes, dont 2 0/0 pour le four lui-même et 5 0/0 pour le chauffage des chaudières. La production est de 70 tonnes par poste de dix heures.

Le charbon est chauffé énergiquement et régulièrement, dès qu'on pousse un peu le feu. Il se produit une volatilisation sensible du brai, et on réalise une économie qui peut atteindre 1/2 0/0 en ajoutant le brai au charbon chaud au sortir du four. La consommation de combustible varie suivant l'humidité de la pâte et suivant le degré de dessiccation que l'on veut obtenir. En ramenant l'humidité de 8 à 3 0/0, on dépense environ 3 0/0 du poids de briquettes fabriqué par jour. Avec du combustible dont le pouvoir calorifique est de 6.500 calories, ce four utilise 26 0/0 de la chaleur dégagée au chauffage de la pâte et à la vaporisation de l'eau. Ce rendement est meilleur que celui des malaxeurs à vapeur, qui est souvent inférieur à 10 0/0 de la chaleur dépensée. Cependant le mélange du charbon et du brai n'est pas très

intime dans le four Marsais, et, dans les usines marchant au brai sec, il faut mélanger intimement le charbon et le brai avant l'introduc-

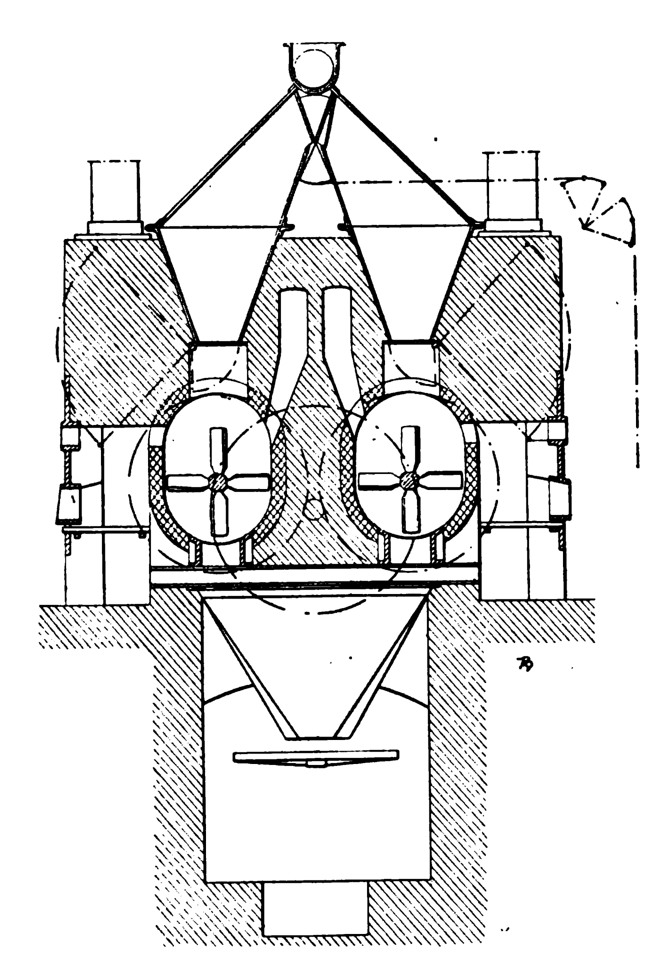


FIG. 139. — Four Marsais.

tion de la pâte dans le four ; de même, si l'on marche au brai fondu, il faut chauffer légèrement le charbon et triturer soigneusement le mélange avant d'introduire le tout dans le four.

Four Biétrix. — M. Couffinhal, de la maison Biétrix, a créé un type de four qui paraît devoir remédier à quelques-uns des inconvénients signalés (*fig.* 140).

Ce four, de forme circulaire et également chauffé à la houille, se compose d'une plate-forme tournante de 4 à 6 mètres de diamètre,

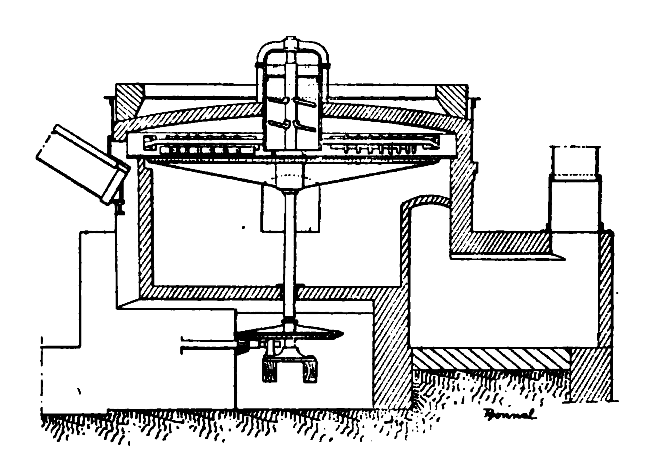


Fig. 140. — Four Biétrix.

montée sur un arbre vertical et dont le mouvement est solidaire de celui de la machine à agglomérer. Cette plate-forme, qui tourne à raison de 3 à 4 tours par minute, est entourée d'une maçonnerie qui est elle-même maintenue par une enveloppe de tôle, et sur laquelle repose une voûte en forme de calotte sphérique, laissant passer au centre un cylindre en fonte avec un axe muni de palettes. Un foyer latéral permet d'obtenir à l'intérieur du four la température nécessaire à l'élimination de l'eau et à la fusion du brai.

Les flammes, après avoir léché la surface supérieure du mélange étendu sur la sole et chauffé la voûte qui agit ensuite par rayonnement, passent au-dessous de la sole à l'opposé du foyer par deux conduits en fonte et de là se rendent à la cheminée.

Autour de l'enveloppe du four sont ménagées six ouvertures. Le charbon est amené automatiquement au centre de la table au moyen d'une vis d'Archimède montée sur l'axe de la table tournante. Quatre ouvertures servant à introduire des raclettes dirigées suivant le rayon et munies de picots qui retournent la matière, la brassent et perméttent au brai de fondre et au charbon de se chauffer d'une manière uniforme : toutes les parties de la masse se présentent successivement au contact de la flamme et de la sole.

En face d'une cinquième ouverture, se trouvent deux barres, l'une fixe, l'autre mobile, qui, à l'aide de cloisons articulées, disposées comme des lames de persiennes que l'on peut incliner plus ou moins, amènent peu à peu la matière du centre à la circonférence en la brassant. Ces persiennes ont aussi pour but de régler l'épaisseur de la couche et, par suite, le temps de séjour du mélange sur la sole.

Une autre raclette, manœuvrée par une tringle placée au dehors du four, prend la matière au centre, l'amène dans la zone d'action précédente et règle le débit.

La sixième ouverture sert à la sortie de la pâte convenablement chauffée et brassée.

Enfin des arrêts empêchent le charbon qui n'est pas sorti par l'ouverture normale de tomber sous la sole.

Ces ouvertures servent aussi de regards pour suivre la marche régulière de l'opération.

L'ensemble du four est construit sur un massif en maçonnerie, évidé pour laisser le passage à l'arbre et aux engrenages de commande de la sole. Le foyer et toute la partie supérieure de l'appareil se font en briques réfractaires.

La température des gaz dans le four varie de 100° à 200°, température en elle-même suffisamment élevée pour porter le charbon au rouge, s'il n'était pas continuellement tourné et retourné et, de plus, protégé par la couche de vapeur qu'il émet. Cette même vapeur a encore l'avantage de retenir dans le charbon les gaz utiles.

Lorsque le four à sole tournante est bien conduit, la pâte doit sortir à une température voisine de 95°, qui convient parfaitement à l agglomération.

Un four à sole de 2m,80 de diamètre permet de préparer 35 tonnes en dix heures; la sole fait 6 tours par minute. Le four de 4 mètres et le four de 5m,60 de diamètre peuvent donner une production respective de 60 et de 100 tonnes en dix heures; le nombre de tours de la sole est, pour le premier, de 4 à 5 tours, pour le second de 3 1/2 à 4 tours par minute.

Pour une production plus considérable, on peut employer des fours à soles superposées; le charbon arrive à la circonférence de la sole supérieure, est conduit au centre et tombe sur la seconde sole, disposée comme il a été dit plus haut.

Bien que le four Biétrix exige peu de force motrice et fonctionne d'une manière continue, il a le défaut de donner un chauffage moins énergique que le four Marsais, et le charbon qui reste immobile entre deux bras successifs s'enflamme facilement. Il demande l'attention continue d'un chauffeur et consomme environ 18 kilogrammes de combustible par tonne de charbon séché. On estime que les frais de séchage par ce four représentent de 1 à 1/2 0/0 du brai utile économisé par son emploi. Le prix du four Biétrix est d'environ 18.000 francs, complètement monté.

Chargement des briquettes. — Il est peu avantageux de charger directement les briquettes en wagon au sortir de la presse, car les briquettes, encore molles et chaudes, se cassent alors en deux ou se fendillent. Pour éviter ces déchets, il est préférable de refroidir les agglomérés à l'air avant de les charger. A cet effet, on les fait tomber, au sortir de la presse, sur des toiles de transport, dont la longueur atteint souvent 20 mètres. Ces toiles sont, en général, formées de vieux câbles, ou de bandes en aloès ayant 2 centimètres d'épaisseur. Leur vitesse, qui correspond au débit de la machine, est de 15 à 30 centimètres par seconde.

Générateurs de vapeur. — On peut choisir comme générateur une chaudière de type quelconque, et le choix est d'autant plus facile que, l'allure de la marche des usines à agglomérer étant très régulière, on peut avoir recours aux chaudières multitubulaires ou aux chaudières à petits éléments dont il existe un grand nombre de modèles donnant des résultats également bons. Les Compagnies de mines qui installent des ateliers d'agglomération à proximité des puits et des lavoirs ont tout intérêt à brûler dans les foyers des chaudières de leurs usines à briquettes les déchets des autres ateliers de préparation des charbons, boues, schlamms, et autres résidus de lavage, charbons

barrés et schistes peu cendreux provenant des ateliers de triage.

La surface de chauffe à prévoir peut être évaluée en moyenne à 15 mètres carrés par tonne de briquette produite par heure de marche. On dépense davantage quand on utilise pour le chauffage la vapeur empruntée directement aux générateurs, au lieu d'employer la vapeur d'échappement des machines ou des fours. D'ailleurs, la surface de chauffe nécessaire ainsi que la consommation de combustible varient dans une assez forte proportion avec le fonctionnement plus ou moins parfait des machines à vapeur et des presses elles-mêmes.

La consommation de combustible par tonne de briquettes fabriquée varie de 20 à 60 kilogrammes suivant les installations. A l'usine de Chasse, elle est de 20 kilogrammes.

Force motrice. — Toute machine robuste, pourvue d'un bon régulateur, peut convenir pour une usine à agglomérés. Il est prudent d'éviter les engrenages pour la commande qui doit s'opérer autant que possible par courroie : on empêche ainsi les ruptures pouvant provenir de l'introduction accidentelle d'un corps étranger dans les organes des presses, des broyeurs ou des malaxeurs.

Les presses à manivelle et à moule fermé absorbent moins de force motrice que les presses à moule ouvert et à frottement latéral du type Evrard. On ne peut donc rien dire de précis sur la puissance à prévoir pour le moteur. Dans le cas de la machine Mazeline, le moteur ne commande que les organes accessoires, tels que les broyeurs, malaxeurs, etc.

En pratique, on peut compter que la puissance du moteur d'une usine à briquettes doit varier entre 4 et 8 chevaux par tonne de briquette fabriquée à l'heure.

Exemples d'installation. — Nous donnons ci-après quelques indications sur le plan suivi dans certaines usines pour la réalisation des agglomérés. Nous nous bornons à un ou deux types, les circonstances locales pouvant faire varier à l'infini les plans des usines.

Atelier Middleton. — Dans le dispositif Middleton, tel qu'il est représenté par la figure 141, la houille est versée dans la trémie principale de l'élévateur B, qui la monte dans la grande trémie du mesureur C. Le brai employé est mis, en sortant du wagon, sur une plate-forme, d'où il va dans la petite trémie du mesureur C, après être passé dans un concasseur mécanique. C'est alors que se

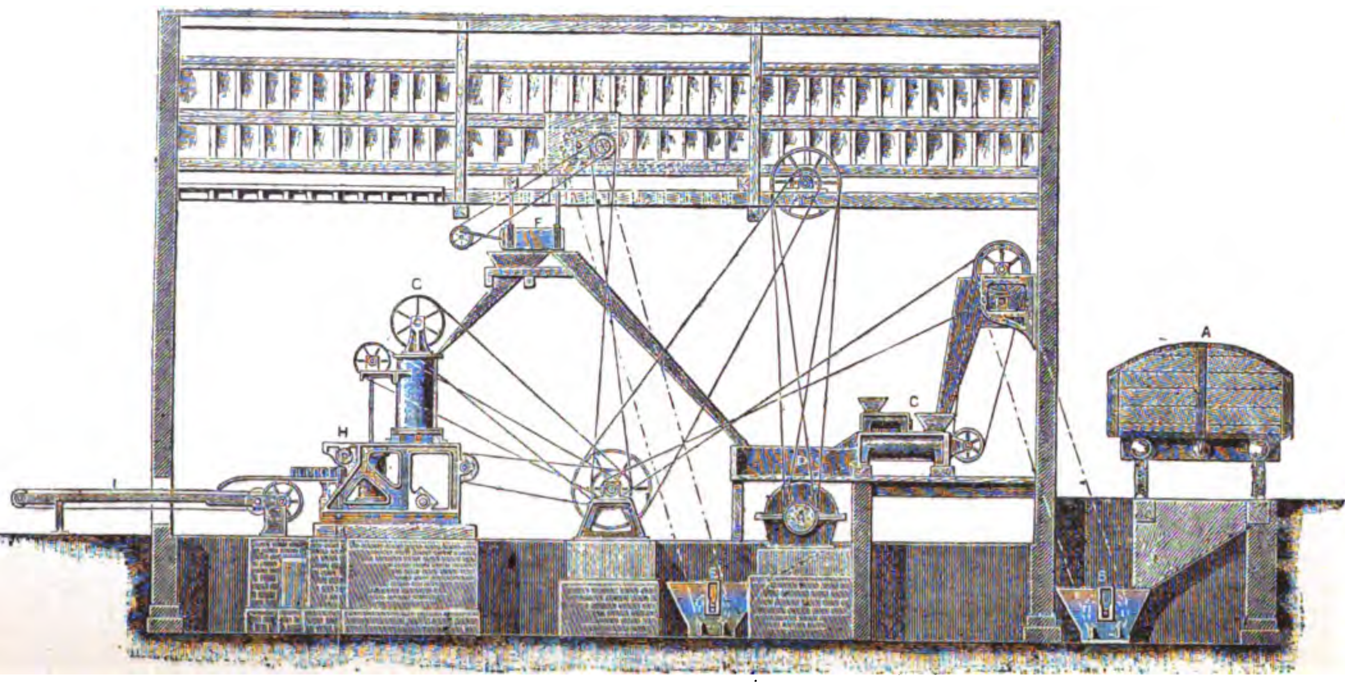


Fig. 141. — Disposition d'un atelier Middleton.

fait le mélange des matières, dans des proportions relatives que l'on peut varier à volonté en changeant les roues qui règlent la vitesse de l'hélice. La houille et le brai, réunis dans le mesureur, passent ensemble au broyeur D, qui les écrase et les mélange intimement; puis, un élévateur E les prend et les porte sur une crible F, qu'ils traversent avant d'arriver au réchauffeur vertical G. Le crible F sert à arrêter toute la houille non broyée ou les matières étrangères dures, qui retournent sur la table disposée près du broyeur D. Après le réchauffeur vertical G, les matières chauffées par la vapeur traversent la machine H, qui les moule en briquettes et arrivent sur le tablier mobile I, qui, suivant les besoins, les conduit au magasin ou dans la cour. La vapeur est injectée directement dans le réchauffeur G.

Une fois entrées dans leurs trémies respectives, les matières n'exigent plus aucune manipulation, mais traversent la machine automatiquement. Les ouvriers nécessaires sont : un homme pour alimenter la machine de houille; un autre homme pour l'alimenter de brai ; un homme pour surveiller la machine; un pour aider aux divers services; trois gamins pour enlever les briquettes. Ce personnel est celui d'une fabrique ayant une seule machine à briquettes, et produisant 5 tonnes par heure. Les frais de main-d'œuvre sont évalués à 0 fr. 45 par tonne.

La dépense de vapeur est estimée à 0 fr. 26 par tonne. Une usine à deux machines, produisant 10 tonnes par heure, n'a besoin que d'un conducteur de machine et de trois gamins, car le reste du travail se fait mécaniquement; les frais de main-d'œuvre sont évalués, en ce cas, à 0 fr. 36 par tonne.

La force motrice est fournie par un moteur ayant un cylindre de $0^{m},355$ recevant de la vapeur à la pression de $4^{kg},22$ par centimètre carré dans la chaudière; pour une production de 10 tonnes, il suffit d'un cylindre de $0^{m},406$. La chaudière doit être un peu plus forte que ne l'exige le moteur, puisqu'il faut de la vapeur pour chauffer les matières premières; celles-ci ne sont pas chauffées pendant la compression de la briquette.

Ateliers de Blanzy. — Un des ateliers comprend trois presses Révollier avec fours à sole tournante.

Les menus pulvérulents (0 à 9 millimètres) venant des bâches d'égouttage sont amenés dans des wagons de 12 hectolitres versés dans une fosse et repris par une noria qui les remonte à l'étage supérieur.

Une seconde noria, placée symétriquement, à l'autre extrémité de l'atelier, prend le brai broyé à sa sortie d'un broyeur Carr, et le monte de même à l'étage supérieur.

Le mélange, brai et charbon, est chauffé dans un malaxeur à enveloppe et à injection de vapeur surchauffée. A sa sortie du malaxeur, après un séjour de huit à dix minutes, le mélange chaud (90° à 95°) tombe dans les moules pour être soumis à la compression. Un moule contient 30 briquettes de 5kg,900, soit 175 à 180 kilogrammes par presse.

Une presse fait environ 8 tonnes à l'heure.

La compression, commencée par les pompes à basse pression où l'eau est comprimée à 45 kilogrammes et achevée avec les petites pompes à haute pression, où l'eau est comprimée à 350 kilogrammes, est d'environ 100 à 110 kilogrammes par centimètre carré. La production de l'atelier est de 250 à 260 tonnes.

Un autre atelier, comprend quatre presses Biétrix avec fours Biétrix à réverbère et à sole tournante. Une de ces presses est disposée pour faire à volonté des briquettes perforées ou pour mettre en mouvement une presse à boulets ou grelats comprimés.

Le charbon amené des bâches d'égouttage est monté par des monte-charges à la partie supérieure de l'usine. Il en est de même pour le brai, broyé dans un atelier spécial. Charbon et brai sont versés dans des trémies séparées. Sous les trémies, des doseurs rotatifs à diaphragmes, à vitesse variable, forment le mélange brai et charbon dans la proportion voulue. Le mélange est amené par une vis sans fin, dans le four à feu nu, où des appareils mélangeurs le brassent en le poussant du centre à la circonférence ; repris ensuite dans une vis inclinée qui le remonte dans un malaxeur, il finit par tomber dans les alvéoles de la presse.

Une presse fait de 23 à 26 briquettes par minute, d'un poids de 6 kilogrammes à 6kg,400, soit 8.000 à 9.000 kilogrammes par heure.

La compression varie de 130 à 140 kilogrammes par centimètre carré.

On emploie le brai fondu mélangé avec 8 à 10 0/0 de goudron. Le brai, grossièrement concassé, est mélangé au goudron dans une chaudière à double enveloppe, d'où il est amené, après fusion, dans un réservoir muni d'un doseur qui le distribue dans deux malaxeurs.

Le charbon, séché et chauffé dans le four, est remonté dans les malaxeurs par une noria. Le mélange tombe de là dans le malaxeur de la presse, qui achève le pétrissage.

La production de l'atelier est de 260 à 270 tonnes pour trois presses ordinairement en marche.

Pour le chargement et l'emmagasinage des briquettes, un traînage mécanique sur lesquels sont mis les chariots au sortir des presses, dessert chacune des usines.

Prix de revient. — Le prix de revient de la fabrication des agglomérés comprend trois éléments : 1° le prix de la houille à agglomérer; 2° le prix du brai; 3° les dépenses de fabrication : main-d'œuvre, fournitures et entretien.

On ne peut rien dire de fixe ni de précis au sujet du prix des houilles, qui varie suivant les bassins et les époques. Les frais de lavage interviennent, le lavage étant toujours nécessaire.

La main-d'œuvre est très variable aussi, suivant que l'on considère une usine moderne ou une ancienne usine où les opérations ne se font pas toutes mécaniquement et où le matériel est vieux et compliqué. Dans les usines récemment installées, tout se fait mécaniquement. Les frais de main-d'œuvre peuvent être estimés de 0 fr. 60 à 1 fr. 10 par tonne, déchargement du charbon et chargement des briquettes compris.

Il est indispensable de choisir une presse robuste et bien construite, car les frais d'entretien des appareils, qui sont de 0 fr. 25 au minimum, peuvent atteindre, dans certains cas, 1 ou 2 francs.

D'après M. Rossigneux, voici un exemple de frais de fabrication dans une usine du Nord de la France fabriquant 250 tonnes par jour avec deux presses Biétrix pourvues de fours Biétrix.

MAIN-D'ŒUVRE

Surveillance	0f,04	
Manœuvre des wagons	0 ,03	
Déchargement du brai	0 ,05	
— du charbon	0 ,06	
Broyage	0 ,17	
Fabrication	0 ,21	
Chargement des briquettes	0 ,08	
Travaux divers	0 ,06	
Chauffeurs machinistes	0 ,10	0f,80

MATIÈRES

Huiles et graisses	0f,09	
Objets divers	0 ,07	
Entretien des machines	0 ,10	
Charbon pour machines et fours (6 fr. la tonne).	0 ,31	0f,57
		1f,37

Dans une usine du Nord de la France munie de quatre presses hydrauliques Révollier à plateau tournant, produisant 250 tonnes en tout par poste (marche au brai sec, chauffage à la vapeur) les dépenses sont les suivantes :

MAIN-D'ŒUVRE

Surveillance	0f,06	
Manœuvre des wagons	0 ,06	
Déchargement du brai	0 ,05	
— du charbon	0 ,11	
Broyage	0 ,08	
Fabrication	0 ,42	
Chargement des briquettes	0 ,08	
Chauffeurs, divers	0 ,20	1f,06

MATIÈRES

Huiles et graisses	0f,11	
Bois, métaux	0 ,07	
Chevaux pour wagons	0 ,07	
Objets divers	0 ,15	
Réparations	0 ,40	
Charbon pour chaudières	0 ,35	1f,15
		2f,21

Dans des usines très bien installées du Nord de la France avec presses Bourriez très robustes, la main-d'œuvre est comprise entre 0 fr. 60 et 0 fr. 65 la tonne.

Dans une usine du Gard installée avec presse Veillon, séchage au four cylindrique, chauffage à la vapeur et marche au brai sec, on a obtenu les résultats suivants pour une production de 2.400 tonnes par mois :

MAIN-D'ŒUVRE

Fabrication	0f,28	
Chauffeurs	0 ,08	
Entretien des bâtiments et appareils	0 ,40	
Manutention et mise en stock	0 ,25	1f,01

MATIÈRES

Charbon pour fours et chaudières (4 fr. la tonne)	0f,47	
Entretien	0 ,40	
Éclairage, laboratoire	0 ,04	
Manutention et mise en stock	0 ,12	1f,03
		2f,04

Dans une usine du Midi de la France comportant une presse Mazeline double avec chauffage à la vapeur et trois machines Biétrix avec four on a les frais suivants :

MAIN-D'ŒUVRE

Surveillance	0f,02	
Laboratoire	0 ,02	
Fabrication	0 ,34	
Entretien des machines	0 ,13	
Entretien des bâtiments	0 ,04	
Matériel roulant	0 ,06	
Chauffeurs	0 ,09	
Manutention des matières	0 ,05	0f,75

MATIÈRES

Charbon pour fours	0f,13	
Graissage	0 ,04	
Entretien des machines	0 ,12	
Entretien du matériel roulant	0 ,03	
Charbon pour chaudières	0 ,84	
Entretien des chaudières	0 ,08	1f,24
		1f,99

A l'usine des Sables-d'Olonne, le prix de revient peut s'établir comme suit. (On suppose une marche de trois cents jours par an avec une fabrication quotidienne de 45 tonnes pour deux machines.)

La fabrication totale annuelle sera :

$$45^t \times 300 = 13.500 \text{ tonnes.}$$

Les dépenses annuelles sont les suivantes :

Intérêt du capital 30.000 francs 5 0/0	1.500 francs
Amortissement du capital, 1/20	1.500
Entretien et réparations, graissage, etc.	1.500
Main-d'œuvre, 300 journées à 38 fr. 50	11.500
Consommation, combustible, 225 tonnes à 20 francs	4.500
Direction et frais de bureaux	3.500
TOTAL	24.000 francs

soit par tonne fabriquée :

$$\frac{24,000}{13,500} = 1,777.$$

La dépense de brai varie énormément suivant le cours du brai, la proportion employée et l'emplacement des usines.

Dans une usine placée sur le littoral français, c'est-à-dire à proximité de l'Angleterre, pays producteur du brai, et employant 8 à 10 0/0 de brai à 30 francs la tonne, on aura par tonne 1 fr. 50 pour la main-d'œuvre, et les matières plus 2 fr. 40 de brai, soit 3 fr. 90. Si l'on travaille à 6 0/0 de brai on réduira le prix à 3 fr. 30.

Dans une usine de l'intérieur, on aura par tonne de briquettes 2 fr. 50 de main-d'œuvre et matières, et 6 fr. 30 de brai (9 0/0 de brai à 70 francs la tonne), soit, en tout, 8 fr. 80, ce qui est un maximum qui ne doit jamais être dépassé.

Voici enfin, à titre de renseignement, le prix de revient d'une tonne de briquettes dans une fabrique anglaise produisant 80 tonnes par jour :

	Prix par tonne.	Prix par tonne.
Main-d'œuvre, y compris la mise en tas (si elle est nécessaire)	0f,805	
Huile et graisse	0 ,030	
Combustible pour chaudière	4 ,200	
Ingrédients divers	0 ,050	1f,085
	Prix par 80 tonnes.	
Fines et poussiers de charbon	417f,50	
Brai (8 tonnes)	252 ,00	
	669f,50	8f,365
Amortissement, dépréciation à 7 0/0		0 ,250
PRIX TOTAL PAR TONNE		9f,700

Comme frais de premier établissement on peut compter qu'une usine complète, pour 220 tonnes par 24 heures, coûte environ 700.000 francs, en comprenant une presse Bourriez double avec moteur Corliss de 50 chevaux, quatre générateurs à foyer intérieur de 50 chevaux, un lavoir composé de deux bacs à grains et de six bacs à feldspath et 16 tours d'égouttage. Dans ce prix sont également compris des frais accessoires, tels que construction de l'usine et de ses voies ferrées, magasins, écuries, forge, menuiserie, bascule, trois maisons d'employés et sept d'ouvriers, grue de chargement, une locomotive et quatre wagons.

CHAPITRE XVIII

APPAREILS DE COMPRESSION

Considérations générales. — Classification des appareils de compression. — *Premier type.* — Roues tangentielles. — Presse David. — *Deuxième type.* — Presses à moules fermés. — Presse Marsais. — Presse Middleton. — Presse Révollier. — Presse Révollier modifiée. — Presse Durand et Marais. — Presse Dupuy. — Presse Mazeline. — Presse Stevens. — Presse Yeadon.

Considérations générales. — La première et principale qualité d'un appareil de compression est de pouvoir donner aux agglomérés une densité convenable. Or cette densité est d'autant plus uniforme que l'épaisseur des briquettes est plus faible. On a constaté que des briquettes rectangulaires, dont les dimensions transversales étaient de $0^m,29$ sur $0^m,18$, présentaient sur les faces supérieure et inférieure une différence de densité de 5 0/0 (1,21 à 1,16) pour une épaisseur de $0^m,5$, tandis que cette différence n'était plus que de 1 0/0 (1,20 à 1,29), lorsque la hauteur des briquettes était réduite à $0^m,11$, et leurs dimensions transversales amenées à $0^m,30$ sur $0^m,24$.

Cette différence de densité tient à ce que l'effort de compression exercé sur l'une des faces ne se transmet que très imparfaitement au travers de la pâte dont se composent les briquettes ; une grande partie de cet effort se trouve détruite par le frottement qu'exerce cette pâte sur les parois du moule. En comprimant du menu sec dans un tube cylindrique en fonte de $0^m,08$ de diamètre et $0^m,03$ d'épaisseur, ce tube éclate dès que sa longueur dépasse $0^m,35$ à $0^m,40$. De cette expérience on a déduit que le coefficient de frottement du menu sec sur la fonte polie devait être 0,70 environ. En partant de ce coefficient, on trouve qu'une pression de 50.000 kilogrammes, exercée sur l'une des faces d'une briquette rectangulaire de $0^m,25$ sur $0^m,30$ est réduite à 8.500 kilogrammes, ou au sixième environ, sur l'autre face, lorsque l'épaisseur est de $0^m,15$.

De ces expériences, on peut tirer les conclusions pratiques suivantes, au point de vue des machines destinées à produire l'agglomération.

La pression fournie par la machine de compression doit être au moins de 100 kilogrammes par centimètre carré, et même dans certains cas, pour les charbons grenus et durs, il convient qu'elle atteigne 140 ou 150 kilogrammes.

Pour une section transversale, comprise entre 4 et 500 centimètres carrés, l'épaisseur doit être notablement au-dessous de $0^{m},15$ et ne pas dépasser, par exemple, 10 ou 11 centimètres. Si l'on veut donner aux briquettes une section moindre, il faut également diminuer leur épaisseur.

Au point de vue de l'uniformité de la densité et de la réduction du frottement au minimum, la forme la plus avantageuse est évidemment la forme circulaire; dans le cas où l'on emploie des moules rectangulaires, il convient, tout au moins, d'arrondir les angles.

Les opinions sont diverses quant à la nécessité d'employer la double compression.

M. R. Middleton est d'avis que la compression simple sur une briquette ne doit pas produire tout l'effet attendu, et que la compression double est indispensable pour obtenir un produit homogène. Le dessous de la briquette est toujours plus mou que le dessus, c'est pourquoi la double compression doit être appliquée; la partie la plus molle de la briquette est alors le milieu. La double compression permet d'arrondir les angles des briquettes et, par suite, de diminuer les difficultés de manutention et le déchet.

M. Arthur J. Stevens ne partage pas l'opinion de M. Middleton, car il constate que, dans le sud du Pays de Galles, les briquettes sont fabriquées sans exception avec des machines à simple compression. De plus, en cassant des briquettes en deux, il a constaté que la différence de densité entre le côté recevant la compression et le côté opposé n'était pas si grande qu'on pourrait le croire. L'avantage de la compression simple, contrairement à l'avantage théorique de la double compression, consiste en ce que chaque moule peut être disposé pour recevoir un piston de compression, de sorte que l'exactitude du mouvement de la table n'est pas nécessaire. Cette exactitude est, en effet, difficile à réaliser, car les crasses et les débris s'introduisent dans le mécanisme d'avancement et poussent la table en avant un peu plus vite qu'il ne faudrait.

MM. Yeadon sont partisans de la double compression et de la sup-

pression des angles vifs qui, d'après eux, a l'avantage de réduire à un minimum la quantité de déchet dans la manutention et le transit.

A quelle pression la pâte doit-elle être soumise? En Allemagne, la pression varie de 70 à 80 kilogrammes par centimètre carré. M. Stevens conseille environ 120 kilogrammes par centimètre carré, et MM. Yeadon, M. Robert Middleton et M. Dumble recommandent tous 315 kilogrammes par centimètre carré.

Il semble résulter des constatations faites que la pression doit être réglée suivant l'espèce de charbon et de matière agglomérante employés. Si le charbon est friable et gros, une légère pression suffira; si l'on employait une forte pression dans un tel cas, on écraserait trop le charbon. Si l'on emploie du charbon menu, la pression doit être forte; il en sera de même lorsqu'on emploiera un mélange de farine et de chaux comme matière agglomérante ou quand on emploiera du charbon sans matière agglomérante. Les faibles pressions conviennent quand on emploie une grande quantité de brai pour l'agglomération. Les machines doivent donc pouvoir être susceptibles de produire des pressions variables, et on devra adopter la pression la plus convenable suivant chaque cas.

Classification des appareils de compression. — Il est indispensable de classer les machines; mais c'est une opération difficile, car elles diffèrent beaucoup les unes des autres. M. William Colquhoun les a classées en trois catégories :

1° Presses à simple compression;

2° Presses à double compression;

3° Presses tangentielles.

Cette classification est incomplète, car il existe des machines qui produisent des briquettes rectangulaires, cylindriques, ovoïdes, ou des boulets. Certaines machines ont des tables horizontales et d'autres des tables verticales; d'autres n'ont pas de tables du tout. Enfin il y a des presses à moules fermés et d'autres à moules ouverts. La classification ci-dessous tient compte de ces divers éléments :

1° Machines à roues horizontales ou à plateau automobile;

2° Machines à roues tangentielles;

3° Machines à pistons et moules ouverts;

4° Machines à pistons et moules fermés.

La classification à laquelle nous nous arrêterons est plus complète encore et fait intervenir tous les éléments de construction ou de fonctionnement des presses.

Presses tangentielles				David. Jarlot. Verpilleux. Flaud.
Presses à moules fermés ou presses estampantes.	Pression de vapeur	pression directe	d'un côté seulement	perpendiculaire : Mazeline. Stevens.
		pression indirecte	d'un côté seulement	perpendiculaire : T. Middleton. Biétrix.
				horizontale : Durand et Marais. Dupuy et fils.
			des deux côtés	perpendiculaire : Hanrez. Couffinhal.
				horizontale : Yeadon. R. Middleton.
	Pression hydraulique		d'un côté seulement	perpendiculaire : Revollier. Mazeline.
			des deux côtés	horizontale : Roux-Veillon.
Presses à moules ouverts ou presses-couteaux.	Pression de vapeur			horizontale : Évrard. Bourriez.
Presses à briquettes perforées.				
Presses à boulets ovoïdes				Fouquemberg. Robert. Zimmermann-Hanrez.

Premier type. — **Roues tangentielles.** — Ces appareils sont basés sur le principe de deux roues tangentielles, dont les jantes sont munies de parties saillantes et creuses, se correspondant deux à deux, à la façon des engrenages. Le mouvement cylindrique de chaque dent qui pénètre dans le creux formant moule, engendre des pressions dont l'intensité et la direction varient constamment et donnent lieu à des glissements intérieurs, de nature à compromettre la liaison des éléments de la briquette.

Nous citerons comme types de presses à roues tangentielles les machines de MM. Jarlot, Flaud et Verpilleux. Les appareils à roues tangentielles n'exigent que de faibles dépenses d'installation et n'absorbent qu'une force assez modérée; mais, par contre, ils ne peuvent guère s'appliquer qu'à la fabrication des briquettes dont la pâte contient une assez forte proportion de ciment formé de brai gras ou d'un mélange de brai sec et de goudron. D'un autre côté, la compression qu'ils permettent de réaliser est assez imparfaite, et les briquettes obtenues ont une densité notablement inférieure à celle que fournissent les autres systèmes. On ne doit donc recourir à l'emploi de ces appareils que dans le cas de menus provenant de charbons gras d'une agglutination très facile, et quand les briquettes, une fois confectionnées, doivent être utilisées sur place, sans être soumises à un trop grand nombre de manipulations.

Presse David. — Un des appareils à roues tangentielles le plus connu est celui de M. David, du Havre. Il consiste en deux grandes roues verticales de $2^m,50$ environ de diamètre, l'une pourvue de moules, l'autre de dents. Le fond de chaque moule est formé d'un tasseau mobile, qui sert à la fois à la compression et au démoulage. A l'instant où la dent pénètre dans le moule, le tasseau mobile s'avance également vers l'intérieur du moule, grâce à un galet très solide qui vient agir à ce moment sur sa tige; cette disposition a pour résultat de comprimer la briquette à la fois sur ses deux bases, et de donner, par suite, une densité assez uniforme; au moment où la briquette atteint le point le plus bas de la roue, la queue du fond mobile, en se déplaçant le long d'un excentrique, opère le démoulage; la briquette tombe alors sur une toile sans fin, destinée à l'amener à portée des ouvriers occupés à enlever les produits.

Les briquettes préparées au moyen de cet appareil sont toujours plus ou moins déformées; comme cette déformation est d'autant plus sensible que les briquettes sont plus grandes, on comprend qu'il

y ait, à ce point de vue, grand avantage à réduire leur poids le plus possible (1 kilogramme environ).

La production est, en moyenne, de 3 tonnes à 3 tonnes et demie; la puissance de la machine motrice nécessaire est de 12 à 14 chevaux, soit un travail absorbé d'environ 4 chevaux par tonne de briquette.

Deuxième type. — **Presses à moules fermés.** — ***Presse Marsais.*** — Dans cette machine, qui ne fait qu'une briquette à la fois, la compression est produite par une presse hydraulique; le moule est un prisme creux en fonte, cerclé de frettes jointives en fer; la section intérieure est celle d'un carré de $0^m,70$ de côté, la hauteur est de $1^m,20$.

Le moule, rempli sous le four où se prépare le mélange, est amené par un petit chemin de fer, entre les montants d'une presse hydraulique : on abaisse alors le couvercle à l'aide d'une vis, on le fixe solidement au moyen d'une clavette, et l'on fait agir la presse, qui pousse de bas en haut le plateau mobile formant le fond du moule. A la pression limite de 120 atmosphères environ, la pâte se trouve réduite aux deux tiers ; il ne reste plus qu'à opérer le démoulage, ce qui se fait en amenant le moule sous une deuxième presse plus faible. Une opération entière exige au plus dix minutes et donne un bloc pesant 465 kilogrammes, qu'il faut ensuite concasser au marteau. Une presse Marsais produit, par heure, $2^t,5$ de houille agglomérée avec un moteur de 12 à 15 chevaux, soit 5 chevaux environ par tonne et par heure.

Presse Middleton. — La machine à briquettes système R. Middleton (*fig.* 142), est une des plus anciennes presses à agglomérer; elle date de 1845 et portait déjà, en 1853, un pot de presse régulateur analogue à celui de la machine Biétrix.

Voici comment cette presse fonctionne.

Les matières arrivent dans la coulisse d'alimentation dans laquelle fonctionne un piston qui pousse la matière dans le moule. La pression de ce piston est réglée au moyen d'un ressort. Devant le moule est fixée une plaque, contre laquelle les matières sont pressées, pour obtenir des briquettes de dimensions et de poids fixes. Quand le piston a achevé d'agir, la plaque qui porte les moules fait un huitième de tour dans un plan vertical et met un nouveau moule en place, prêt à recevoir la matière.

On remarque que, dans cette presse, le plateau mouleur est actionné par un encliquetage, comme dans la presse Mazeline ; la

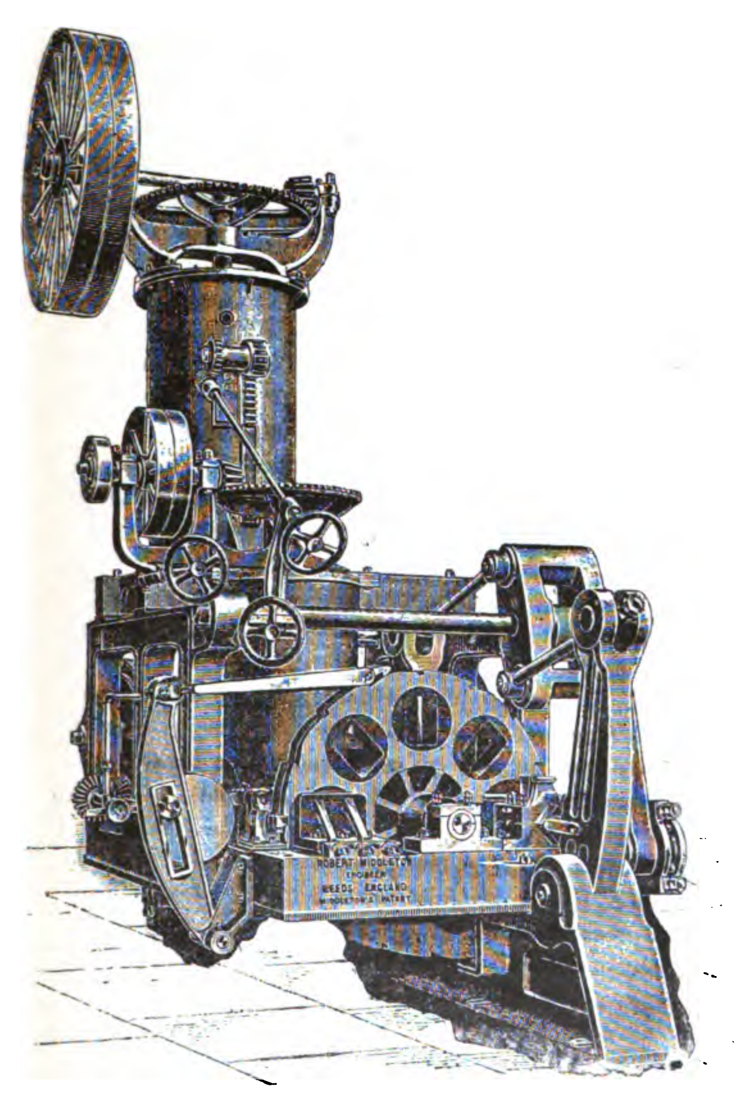


Fig. 142. — Presse Middleton.

compression se fait de haut en bas sous l'action d'un piston unique qui pénètre à tour de rôle dans chacune des alvéoles du plateau tournant ; le mouvement de ce dernier doit donc être absolument précis,

comme dans la machine Biétrix, de façon que le piston trouve le moule bien en face de lui, avec un jeu de quelques millimètres seulement.

Pendant le remplissage, la plaque à moules est solidement verrouillée, ce qui permet d'opérer la compression et l'extraction. La compression est produite uniquement au moyen de leviers. La bielle, fixée à la grande roue et au levier oscillant, imprime à ce dernier un mouvement alternatif et, au moyen des tiges de tension adaptées aux deux leviers presseurs, donne simultanément à ces leviers un mouvement d'avance ou de recul. Dans le premier de ces mouvements, les briquettes sont comprimées, au moyen de pistons horizontaux, à une pression de 315 kilogrammes par centimètre carré. Les pistons reculent au retour de la bielle. On peut voir que la pression se produit quand la bielle est dans une position où son mouvement latéral est très faible, en sorte que la pression a lieu et cesse aussi lentement que possible des deux côtés.

L'emploi de la genouillère permet d'obtenir à la fin de la course une pression considérable, tout en n'employant que des organes de commande assez faibles, puisque c'est la genouillère seule qui résiste à l'effort final. La régularisation de la pression s'obtient au moyen de divers dispositifs : pot de presse avec soupape d'échappement à serrage variable à volonté, ressorts ou contrepoids chargeant directement la tête de la genouillère.

D'après M. Middleton, une pression appliquée d'un seul côté, fût-elle de 475 kilogrammes par centimètre carré, donne invariablement une briquette dont un côté est plus tendre que l'autre; la force se perd dans les particules de charbon et les côtés du moule, sans pénétrer également toute la masse; pourtant des pressions de plus en plus élevées impliquent une économie correspondante de corps agglomérants, tout en produisant une briquette plus parfaite.

C'est la pression de 315 kilogrammes que l'on a trouvée la plus avantageuse et la plus économique au point de vue de la dépense de substance agglomérante. Les avantages de la machine sont de presser des deux côtés, à une pression de 315 kilogrammes par centimètre carré, de produire une briquette dure, et de réduire la proportion de l'agglomérant. Le mouvement simultané des pistons des deux côtés du moule permet d'arrondir tous les bords et les coins des briquettes, ce qui évite, lors des transports, les déchets provenant des cassures aux angles. Les bords qui, outre la pression

directe opérée sur le reste de la briquette, subissent une pression oblique, sont plus durs et mieux comprimés. Aussi les briquettes peuvent-elles aller directement de la machine au wagon, sans qu'il faille leur donner le temps de durcir, avantage qui dispense du magasinage et produit une notable économie par tonne de briquette.

On fabrique à Londres, au moyen de la machine Middleton, des agglomérés sans brai dans les usines de la Coal Brick C°.

On construit des machines de quatre dimensions et pouvant produire 500, 1.000, 2.500 et 5.000 kilogrammes par heure, respectivement.

En résumé, la presse Middleton fonctionne lentement; elle produit donc peu, mais elle donne lieu à peu d'avaries et fournit une compression énergique.

Presse Révollier. — M. Révollier, constructeur à Saint-Étienne, a combiné l'emploi du chariot Middleton et de la presse hydraulique.

Cette presse date de 1865 et, bien qu'on n'en construise plus, elle est intéressante parce qu'elle est une des premières presses qui aient donné de bons résultats et qu'elle présente une application de l'eau comprimée à des pressions très élevées qu'on n'a guère dépassées dans des installations même récentes.

L'opération est divisée en quatre phases distinctes, correspondant chacune à une rotation d'un quart de tour :

1° Distribution du mélange dans les moules ;

2° Vérification du remplissage ;

3° Compression du mélange par une presse hydraulique ;

4° Démoulage à l'aide d'une seconde presse.

Le distributeur est une cuve cylindrique en tôle de 3 mètres de diamètre et de 30 centimètres de hauteur à double fond, qu'on peut chauffer, au besoin, par un jet de vapeur ; son centre est percé pour le passage d'un arbre vertical qui reçoit un mouvement de rotation très lent et le transmet à la plate-forme qui porte les moules et au croisillon à six branches, qui a amené dans ces moules la pâte provenant du malaxeur.

La plate-forme, qui a 3 mètres de diamètre, se meut par quarts de tour autour d'un axe vertical et renferme quatre séries de moules, chaque série étant groupée à l'intérieur d'un cercle de même diamètre ($1^m,20$) que le plateau de la presse destinée à la compression ; chaque moule partiel est ouvert en haut et fermé en bas par un tas-

seau mobile, comme dans la machine Mazeline ; la section est d'ailleurs ou circulaire ou rectangulaire, suivant la forme de briquettes que l'on veut obtenir.

La plate-forme doit se mouvoir par quarts de tour, pour présenter successivement chacune des séries de moules : à l'emplissage, à la vérification, à la compression et enfin au démoulage. Ce mouvement s'obtient au moyen de tocs, fixés à des points convenables de la plate-forme et qui, par l'intermédiaire de leviers, agissent sur un manchon pour produire automatiquement, aux moments voulus, la mise en marche ou l'arrêt de la plate-forme.

Les pistons qui opèrent la compression en pénétrant à l'intérieur des moules, sont fixés, par groupes, sur quatre plateaux suspendus, chacun au-dessous de la série de moules correspondants, par deux forts boulons, le long desquels ils peuvent glisser à frottement doux ; l'effort, exercé par ces pistons sur la pâte des moules, trouve son point d'appui sur un fort sommier, relié par deux colonnes à la plaque générale de fondation.

La presse à démouler, comme la presse à comprimer, est montée sur la plaque de fondation ; elle est établie à angle droit par rapport à la ligne centrale, de manière à se trouver exactement au-dessous de la série des moules dans lesquels la matière vient d'être comprimée, lorsque la plate-forme a tourné de 90°. Le diamètre du piston de cette presse est inférieur à celui du piston de la presse à comprimer, mais sa course est un peu plus grande, afin d'amener les briquettes au-dessus du niveau supérieur des moules.

Le nombre des pressions est à peu près de trente par heure ; le poids moyen de toutes les briquettes d'une série de moules étant de 180 kilogrammes, l'appareil peut débiter, en moyenne, 5 tonnes par heure.

Deux machines semblables, placées côte à côte et desservies par un malaxeur unique placé entre elles, peuvent fournir 10 tonnes par heure. Une machine à vapeur de 60 chevaux suffit pour toutes les manœuvres, soit 6 chevaux par tonne et par heure. Le service d'une machine double exige environ vingt ouvriers, soit environ un cinquième de journée par tonne.

A Blanzy et à Anzin, où cette presse a surtout été employée, la compression de la pâte s'opère au moyen de pistons hydrauliques de 360 millimètre sde diamètre, fonctionnant d'abord sous une pression de 80 kilogrammes par centimètre carré, puis de 500 kilogrammes

et même de 600 kilogrammes ; l'eau sous pression est fournie par de petites pompes agissant directement, sans qu'on ait recours à l'intermédiaire d'un accumulateur. On emploie des pompes de compression à plongeurs battant 60 coups par minute, elles ont 80 millimètres de course et 25 millimètres de diamètre pour la pression de 500 kilogrammes et 80 millimètres de diamètre pour la pression de 800 kilogrammes. La force de compression totale est voisine de 500 tonnes.

On comprime à la fois 21 briquettes, dont la section est de $0^m,11$ sur $0^m,20$; leur longueur, dans le sens de l'action de la presse, est de 0^m30.

L'intensité de la compression est en général de 110 kilogrammes par centimètre carré.

La pression qui dure plusieurs secondes, chasse l'eau ; après compression les briquettes ne conservent qu'une teneur en eau de 4 0/0, qui disparaît en grande partie par évaporation pendant le refroidissement ; lors de la mise en wagon, les briquettes ne contiennent guère plus de 1 à 2 0/0 d'eau.

A Anzin, on employait avec cette presse le travail au brai sec et le chauffage à la vapeur. On passait à la presse des menus demi-gras à 14 0/0 de matières volatiles, exigeant une proportion de 9 0/0 de brai. On obtenait des briquettes pesant $8^{kg},2$ à $8^{kg},5$ présentant une densité de 1,25 et une cohésion de 52 0/0.

Presse Revollier modifiée. — On peut reprocher au système qui vient d'être décrit de nécessiter une installation mécanique coûteuse et compliquée et de coûter fort cher d'entretien, ainsi que de main-d'œuvre. Pour faire disparaître en partie cette objection et faciliter la généralisation de son système de compression hydraulique, M. Revollier a remplacé le mouvement circulaire des moules par un mouvement rectiligne.

Cette disposition n'exige que l'emploi de deux séries de moules ; les opérations du démoulage et de l'emplissage des moules de la série qui sort de la presse à comprimer s'effectuent en même temps qu'on soumet à la compression l'autre série ; la production est donc aussi considérable que dans le système à moules tournants.

L'ensemble de l'appareil de moulage comprend trois corps de presses, disposés en ligne droite. La plus forte presse, celle qui se trouve au milieu, est la presse à comprimer ; les deux autres, qui doivent servir au démoulage, n'en diffèrent que par leurs dimensions.

Les trois presses sont commandées par cinq pompes, dont trois refoulent l'eau à 40 atmosphères, tandis que les deux autres, plus petites, élèvent cette pression jusqu'à 600 atmosphères dans un réservoir de pression ou accumulateur.

La pression de 40 atmosphères suffit pour opérer le démoulage et pour faire parcourir au piston de la grande presse la plus grande partie de sa course, tandis que, pour achever la compression, une pression beaucoup plus forte est indispensable. Un double jeu de soupapes permet d'appliquer à volonté et successivement la petite pression d'abord et la grande ensuite ; l'emploi de l'accumulateur a pour avantage immédiat de régulariser et d'accélérer la marche du piston.

Presse Durand et Marais. — Cette machine (*fig.* 143) est à course horizontale, et ses organes travaillent autant que possible à la compres-

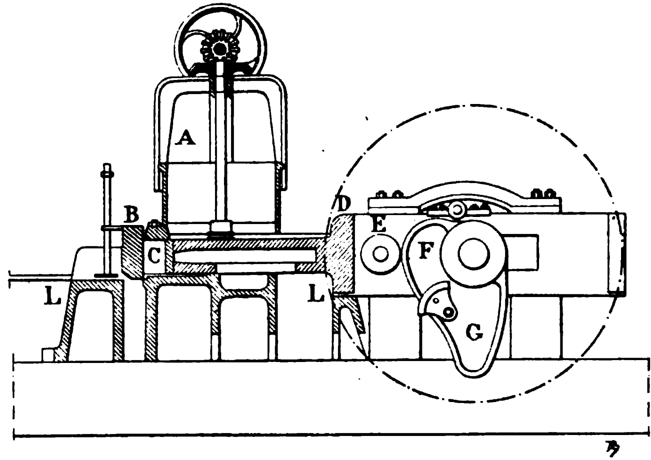


Fig. 143. — Presse Durand et Marais.

sion. Le moule est à fond mobile fermé pendant la compression. Le mouvement est transmis par une poulie fixe posée sur un arbre. La rotation du premier arbre est transmise à un second arbre au moyen d'une paire de pignons et d'engrenages. Le rapport est de 6,40 à 1. Sur le milieu de ce dernier arbre est fixée la came qui actionne le piston. Ce piston est prolongé par un cadre venu de fonte avec le piston lui-même. Le mouvement rectiligne alternatif est guidé par quatre corbeaux faisant corps avec le bâti, et par deux glissières boulonnées à la partie supérieure. Le cadre du piston présente des évidements

pour le passage de l'arbre. La tête de piston est revêtue d'une plaque d'acier ; une mise également en acier est rapportée sur les contours du moule.

La came actionne le cadre du piston à l'aide de deux galets G, G', dont les axes sont fixés sur ce cadre. Quand elle actionne G, le mouvement est en avant; quand elle actionne G', le mouvement est en arrière.

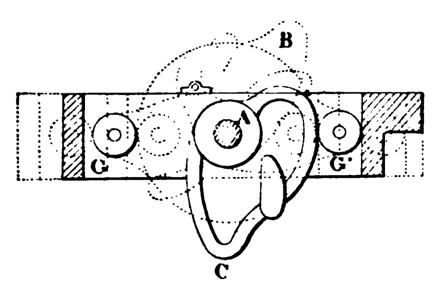


Fig. 144. — Détail de la came de commande dans la presse Durand et Marais.

La figure 144 indique en plein et en pointillé les positions importantes de la came suivant que la compression est terminée ou que la briquette est repoussée du moule.

La production de cette machine est de 12 à 15 briquettes par minute. Chacune d'elles pèse en moyenne 3^kg,250; ce qui fait un poids total de 39 kilogrammes à 45^kg,500 par minute, soit par journée de dix heures :

$39 \times 60 \times 10 = 23$ tonnes 400	Production moyenne :
$45^{kg},500 \times 60 \times 10 = 27$ tonnes 300	25 tonnes.

Les briquettes ont les dimensions suivantes : 0,260 sur 0,130 et 0,085.

Avec cette machine on arrive facilement à 60 et 65 0/0 de cohésion avec une force maximum de 5 chevaux.

La teneur en brai peut varier de 7 à 9 0/0. La main-d'œuvre étant très réduite, le prix de revient est, par conséquent, très faible.

Presse Dupuy. — C'est une machine à pistons et à moules fermés dans laquelle toutes les briquettes sortent d'un même moule comme dans la presse Bourriez, que nous décrirons plus loin.

Les deux pistons reposent chacun sur quatre corbeaux. Ces pistons sont en deux pièces pour permettre le passage de l'arbre et faciliter ainsi le montage et le démontage. Ces deux pièces sont reliées par des boulons. Les pistons sont munis, à leur extrémité, d'une plaque de compression de $0^m,032$ d'épaisseur qui peut être gravée en relief de façon à recevoir une marque de fabrique.

Sur l'arbre sont calées deux cames en acier coulé de telle façon que l'une soit au commencement de la compression lorsque l'autre

termine le démoulage. Ces cames sont munies, sur les côtés, de petites cames qui doivent actionner des petits galets destinés à donner le mouvement de recul au piston après le démoulage.

Devant chaque came est placé un galet en acier destiné à recevoir la pression de celle-ci et à produire le mouvement en avant du piston.

Lorsque, par le mouvement de rotation, la came principale qui actionne directement le piston, se trouve placée la pointe vers le bas, la chambre est à son maximum d'ouverture, ce qui permet l'introduction de la pâte. Pendant le recul du piston, la pâte tombe donc entre sa tête et l'entrée du moule.

Lorsque la came principale a fait un quart de tour vers la gauche, le piston n'a pas changé de place; mais la came attaque le galet d'avant et la compression commence.

Lorsque la came principale a sa pointe dirigée vers le haut, la compression est terminée, et la came continuant son mouvement de rotation sans faire avancer le piston, les cames secondaires actionnent les leviers.

Enfin, lorsque la came principale a fait encore un quart de tour vers la droite, la briquette est rejetée en dehors de la chambre de moulage. A ce moment les cames de recul attaquent les galets placés sur les côtés du piston, et reportent celui-ci en arrière.

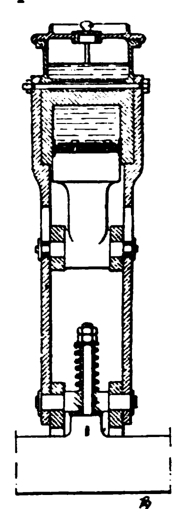


FIG. 145. — Appareil de moulage de la presse Dupuy.

On se retrouve ainsi dans la position initiale, et les phases précédentes se reproduisent successivement.

La pression, qui peut dépasser 100 kilogrammes par centimètre carré, est réglée par des ressorts Belleville interposés entre le piston et sa tête et auxquels on donne une pression initiale correspondant à 80 kilogrammes par centimètre carré. La quantité de pâte qui tombe dans la chambre est réglée au moyen d'une tôle placée sous le distributeur, que l'on fait avancer ou reculer en marche au moyen de deux petits volants placés sur le devant de la machine. On fait aussi varier la pression suivant la densité de la matière que l'on traite en modifiant la position des cames qui font reculer le piston et en augmentant ainsi le volume de la chambre placée en avant du moule.

La machine Dupuy consomme peu de force motrice; en tenant compte de tous les appareils accessoires, tels que broyeurs, norias, etc., on arrive à un total de 4 chevaux par tonne fabriquée à 1 heure.

La machine fait 14 tours à la minute; chaque tour produit, suivant le modèle de machine employé, 2 briquettes de 1 à 8 kilogrammes chacune, ce qui donne un rendement de 28 à 224 kilogrammes à la minute, soit 40 à 320 tonnes par journée de vingt-quatre heures.

Presse Mazeline. — Cette machine comporte un plateau tournant, dans lequel sont ménagées un certain nombre d'alvéoles de moulage;

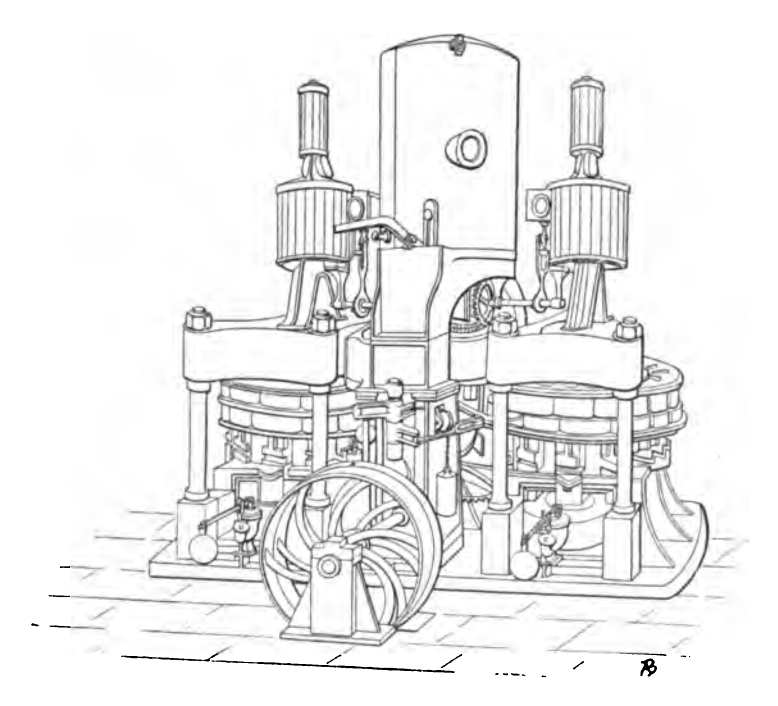


Fig. 146. — Presse Mazeline.

chaque alvéole est munie d'un piston placé à la partie inférieure et servant au moulage et au démoulage (*fig.* 146).

Chaque piston vient se placer à tour de rôle pour la compression sur un levier commandé directement par un piston à vapeur placé au-dessus du plateau tournant et dont la tige est dans l'axe du pla-

teau. La vapeur est introduite sous le piston, qui est caractérisé par un grand diamètre et une faible course. La distribution est faite par un petit tiroir actionné par un des arbres de commande du mouvement de rotation du plateau. La compression dure donc un temps assez long, et l'excès d'eau de la pâte peut être éliminé quand la machine marche assez lentement.

La rotation se fait au moyen d'un encliquetage; la circonférence du plateau est munie de dents en nombre égal à celui des alvéoles; un cliquet, animé d'un mouvement de va-et-vient, appuyé contre les dents par un contrepoids et commandé par l'arbre coudé vertical, qui porte aussi le distributeur pénètre dans ces dents et pousse ainsi le plateau en avant. Il n'existe aucun mécanisme spécial pour empêcher le plateau d'aller trop loin. Il faut, d'ailleurs, un effort assez considérable pour faire tourner le plateau, et les résistances suffisent à provoquer l'arrêt. Pour le démoulage, les pistons circulent sur une nervure en plan incliné, qui les pousse vers le haut; une palette chasse la briquette dans une glissière. La compression est également commencée en partie par l'action d'un autre plan incliné agissant sur les pistons.

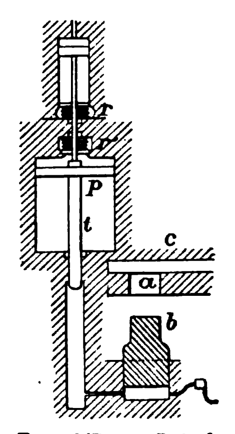


Fig. 147. — Pot de presse de la machine Mazeline.

La Compagnie des Forges et Chantiers de la Méditerranée, qui construit cette machine, a modifié de la façon suivante le mécanisme de compression; le levier est remplacé par un pot de presse (*fig.* 147), agissant sur les pistons des alvéoles et soulevé par le plongeur *t*.

a est une des alvéoles; *c*, le sommier fixe qui supporte l'effort de compression. Le plongeur *t* est abaissé par la vapeur admise au-dessus du grand piston P, avec une certaine détente; la course du piston est beaucoup plus grande qu'avec l'ancien système, sa vitesse plus grande, et il agit comme un marteau-pilon.

Le piston situé au-dessus sert uniquement à relever le plongeur; des ressorts Belleville *r* et *r'* servent à amortir les chocs. On obtient une pression de 300 kilogrammes par centimètre carré de briquette, tandis qu'avec l'ancien dispositif cette pression n'était que de 100 kilogrammes.

Malgré ce perfectionnement, la presse Mazeline consomme plus de

vapeur que celles où la compression se fait par une manivelle tournant d'un mouvement continu. La force motrice nécessaire n'est que de 2 chevaux à 2 chevaux et demi par tonne de briquette fabriquée à l'heure; mais la consommation totale de vapeur est quatre fois plus forte que celle du moteur seul.

Les réparations sont assez fréquentes, surtout en ce qui concerne le mécanisme du mouvement de rotation; il est bon de faire le cliquet assez faible, de sorte qu'en cas d'arrêt brusque, ce soit cette pièce qui casse de préférence, car on peut la remplacer rapidement et remettre en marche au bout de quelques minutes.

On construit divers modèles de cette machine produisant des briquettes dont le poids varie de 1^{kg},250 à 10 kilogrammes. Un autre modèle comporte deux presses accolées avec un distributeur commun; sa production est de 24 tonnes à l'heure en briquettes de 10 kilogrammes (briquettes de 22 sur 30 et 11). Les petites machines donnent de 24 à 26 briquettes par minute; la machine de 10 kilogrammes donne 20 coups par minute, soit 40 briquettes pour la machine double.

Presse Stevens. — La presse Stevens est analogue, en principe, à la presse Mazeline, mais elle est beaucoup plus simple, et occupe moins d'espace. Elle est du type à simple compression et munie d'une table horizontale de moulage avec pistons verticaux de compression. Elle est quelquefois disposée pour comprimer deux briquettes à chaque course. Les pistons de compression sont supportés par un plan incliné sur lequel ils glissent, et les moules, quand ils sont remplis de pâte, reposent sur un levier relié par une tige au piston à vapeur. La table est mue périodiquement par un cliquet, s'engageant dans les creux ménagés sur le contour de la table de moulage; ce mouvement est obtenu par une manivelle d'un arbre vertical qui est en relation fixe avec le piston du cylindre à vapeur.

Le tiroir du cylindre à vapeur, qui est ouvert au moment où chaque piston de compression repose successivement sur le levier, est mû horizontalement par un excentrique claveté sur l'arbre vertical. Grâce à cette disposition, l'usure des disques des pistons et des moules est réduite au minimum. La tige du piston et le levier viennent reposer par leur propre poids sur un tampon en bois ou bloc; la chaîne supportant le poids moteur s'enroule sur une poulie. Les briquettes terminées sont enlevées de la table par un levier actionné par une came montée sur l'arbre vertical; le levier est tou-

jours ramené à sa position de fonctionnement au moyen d'une chaîne avec poids se mouvant sur la poulie.

Presse Yeadon. — Cette presse, la première qui ait fonctionné avec la double compression, date de 1877 (*fig.* 148).

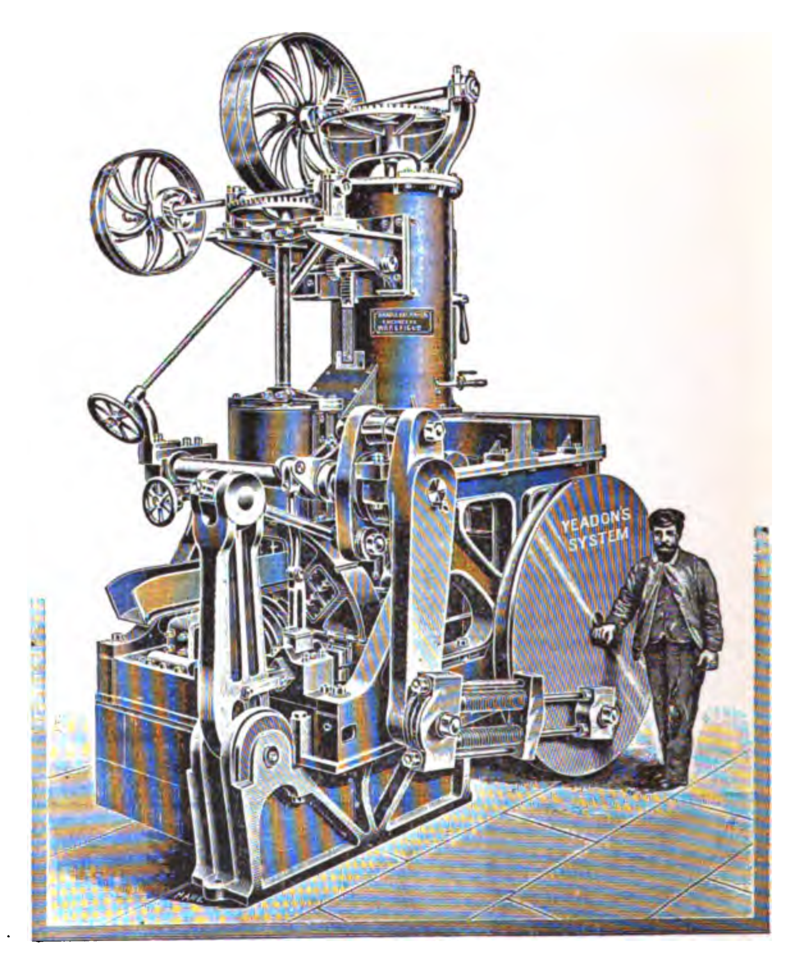


Fig. 148. — Presse Yeadon.

L'emploi de la table verticale de moulage procure un avantage qui consiste principalement en ce que le piston de compression force énergiquement une charge du fond du distributeur à entrer dans le moule vide opposé, tandis que, dans les tables ordinaires de mou-

lage horizontales, les matières tombent simplement par leur poids dans les moules, ce qui nécessite une course plus longue pour les comprimer. Les matières ayant bien rempli le moule, le piston de compression ne demande qu'une course faible comparativement aux presses à simple compression, pour comprimer la briquette, et la table de moulage n'a pas besoin, par suite, d'être aussi épaisse.

Pendant le temps que le moule est rempli, la pâte est comprimée simultanément par les deux pistons, et le levier pousse les briquettes sur une toile reposant sur la console ou sur une toile ou bande sans fin. Le piston de compression est actionné par le levier et la came qui est calée sur l'arbre principal. Les bielles d'accouplement du levier principal et du piston de compression sont munies de ressorts spiraux, disposés de façon à céder au moment où on atteint le maximum de pression pour lequel la machine est réglée, en évitant ainsi toute avarie dans le cas où un morceau de fer ou une substance dure passe dans le mécanisme à travers la pâte.

Pour empêcher la table de moulage de se mouvoir pendant les opérations de remplissage, de compression et de démoulage, on a disposé un mouvement de serrure consistant en un doigt qui s'engage dans des entailles dont est pourvue la circonférence de la table de moulage; ce doigt est constamment poussé contre la table de moulage par un levier et un poids; il est rappelé au moyen du levier qui est élevé à une de ses extrémités et abaissé à l'autre par une came, calée sur l'arbre du volant.

Ces machines sont établies pour comprimer une briquette de grande dimension, deux briquettes de demi-grosseur ou quatre d'un quart de grosseur à chaque compression. Il existe quatre modèles de presses Yeadon produisant respectivement 25, 50, 10 ou 200 tonnes de briquettes à l'heure.

CHAPITRE XIX

APPAREILS DE COMPRESSION (*suite*)

Presse Biétrix Couffinhal. — Presse Couffinhal à triple compression. — Presse Duplex de Blanzy. — Presse Crozet. — Presse Roux-Veillon. — Presse de la Compagnie P.-L.-M. — *Troisième type.* — Presses à moules ouverts — Presse Evrard. — Presse Bourriez. — *Quatrième type.* — Presses à briquettes perforées. — Presse des Forges et Chantiers de la Méditerranée. — *Cinquième type.* — Presses à boulets ovoïdes. — Presse Zimmermann-Hanrez. — Presse Fouquemberg.

Presse Biétrix Couffinhal. — Cette machine comprime la briquette simultanément sur deux faces opposées (*fig.* 149) dans les derniers types créés. Elle est mise en mouvement par un arbre qui commande des manivelles actionnant deux bielles. Ces bielles transmettent leur mouvement aux balanciers. Le piston mouleur et le piston démouleur suivent les mouvements de ces balanciers auxquels ils sont attelés.

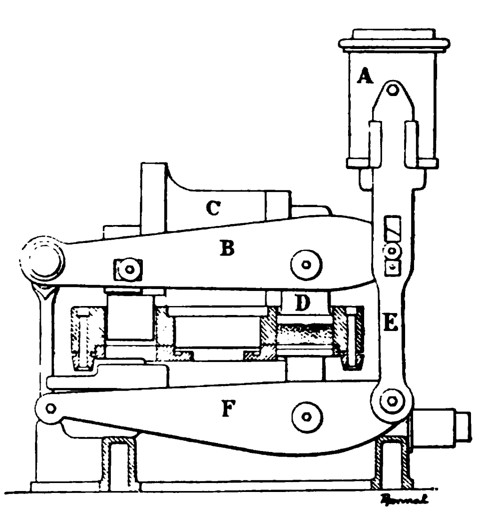


Fig. 149. — Presse Biétrix.

Lorsque la compression se produit par suite de l'abaissement des balanciers supérieurs et du piston mouleur, il arrive un moment où la face supérieure de la briquette se trouve à la limite de sa compression par l'effet de la résistance qu'oppose le piston inférieur et aussi à cause du frottement qu'éprouve le charbon contre les parois du moule ; à cet instant, la face inférieure étant

moins pressée que la face supérieure, il se produit une réaction; cette dernière face devient point fixe, et le piston, attelé au contre-balancier F en relation avec le balancier supérieur B par l'intermédiaire de la bielle E, monte jusqu'à ce que la pression que l'on veut atteindre soit obtenue. La pression est donc la même sur les deux faces, abstraction faite du poids des pièces.

Pour régulariser la pression, c'est-à-dire afin de pouvoir graduer l'effort de compression suivant la qualité des charbons, on se sert d'un cylindre hydraulique qui donne une certaine élasticité aux bielles; à cet effet, l'axe du balancier supérieur peut se déplacer dans une coulisse pratiquée dans les bielles ou flasques E; cet axe est ainsi en relation avec le piston d'un pot de presse hydraulique. Le pot de presse, relié aux flasques E, porte deux soupapes s'ouvrant en sens contraire, l'une servant à l'admission de l'eau, l'autre chargée d'un ressort ou de poids servant à l'échappement.

Lorsque la pression maximum est atteinte ou si le piston mouleur, dans sa compression, trouve une résistance supérieure à la réaction que peut opposer l'eau contenue dans l'appareil et dont la limite est donnée par les poids ou les ressorts qui chargent la soupape, cette soupape se lève en laissant échapper un peu d'eau, et le piston remonte avec le balancier jusqu'à ce que le bouton de manivelle ait franchi le point mort; cela fait, la soupape se referme et tout le système redescend par son propre poids. Le piston hydraulique aspire en descendant le petit volume d'eau expulsée qui rentre par la soupape d'aspiration s'ouvrant à l'intérieur. Cette disposition constitue un régulateur de pression extrêmement pratique. Il est bon, pour éviter les frottements et l'usure, que l'eau contenue dans le cylindre soit additionnée de savon.

La compression dans la machine se fait en trois temps : 1° le piston compresseur supérieur agit seul; 2° le piston inférieur monte jusqu'à ce que la pression soit égale sur les deux faces ; 3° le piston du pot de presse rentre dans le cylindre hydraulique.

La commande du plateau mouleur est assurée par un tambour portant des rainures d'une forme particulière agissant sur les galets fixés au plateau, dont l'effet est de commencer le déplacement avec une vitesse qui croît d'une façon uniforme jusqu'à un maximum pour repasser par les mêmes valeurs en sens inverse et revenir au point initial. La courbe de relation du mouvement est composée de deux paraboles. Pendant la compression, les galets se

trouvent dans une position telle que la rainure est dans un plan perpendiculaire à l'axe du tambour et le plateau reste immobile.

La pression peut atteindre 300 kilogrammes par centimètre carré dans cette machine, et la densité de la briquette est plus homogène qu'avec les autres machines, la pression ayant eu lieu successivement sur les deux faces.

Un moteur spécial peut être adhérent à la machine; mais, en raison des poussières qui détériorent les organes, il est préférable qu'elle soit actionnée par un arbre de la transmission générale de l'usine.

Le plateau de la machine à double compression porte 12 à 14 moules. Les formes des briquettes sont d'ailleurs celles qu'exigent les types commerciaux des usines qui emploient la machine.

Les alvéoles des moules finissent par s'user peu à peu par suite du frottement du charbon contre leurs parois, surtout lorsque les schistes mêlés au charbon sont très durs. Cette usure peut atteindre de 1/2 à 1 millimètre par an. Elle n'a pas grande importance tant qu'elle est faible; mais, dès qu'elle atteint 2 1/2 à 3 millimètres, il est bon d'y remédier pour éviter les bavures aux arêtes des briquettes. Le remède consiste à fraiser de nouveau les alvéoles et à y introduire des fourrures ou bagues en bronze que l'on mate avec soin au-dessus et au-dessous du plateau.

Il est nécessaire de refroidir les deux pistons compresseurs pour empêcher que la pâte ne se colle à leur surface. Leurs têtes sont creuses et reçoivent un courant d'eau par l'intermédiaire de tubes flexibles en caoutchouc. Grâce à cette précaution, on obtient une surface bien lisse, et les rainures ou marques diverses gravées sur les briquettes sont parfaitement nettes.

Ces presses produisent, suivant la grandeur des modèles, 18, 50, 90 ou 150 tonnes par poste de douze heures. Le poids des briquettes varie de 1 à 10 kilogrammes (1, 2, 5 et 10).

La pâte doit contenir au minimum 1 1/2 et au maximum 3 0/0 d'eau. La proportion de brai à employer varie de 6 à 9 0/0 suivant la qualité des produits que l'on cherche à obtenir et la nature du charbon.

Dans les usines du Nord de la France munies de presses Biétrix Couffinhal, on emploie de 8 à 9 0/0 de brai sec avec une compression de 80 à 120 kilogrammes par centimètre carré. La cohésion des briquettes ainsi obtenues est de 52 à 65 0/0.

Presse Couffinhal à triple compression. — La machine se compose essentiellement du plateau mouleur qui en constitue la partie principale, du noyau portant les guides des pistons et du bâti, sur lequel repose l'ensemble du mécanisme et des transmissions. Le plateau est placé verticalement et présente de nombreuses alvéoles placées dans le plan moyen. C'est dans le sens radial que se font les remplissages, les compressions et le démoulage. Le fonctionnement général du mécanisme est le suivant.

Un arbre à deux coudes, commandé lui-même par un premier arbre moteur portant volant-poulie et pignon, actionne, au moyen de bielles, une genouillère attelée à ses extrémités aux pistons supérieur et inférieur de grande compression. Le même mouvement horizontal des bielles opère à la fois le remplissage et le premier tassement de la matière dans les alvéoles, la compression sur les deux faces, et enfin le démoulage sur le tablier de sortie des briquettes.

Après chaque compression la plateau se déplace d'une division au moyen d'une came spéciale qui, par ses formes, maintient le plateau en position fixe après ses déplacements angulaires.

Le piston inférieur de grande compression est relié à l'articulation supérieure de la genouillère par des tirants qui transmettent directement la réaction de l'effort donné sur la briquette par le piston supérieur. La briquette est ainsi comprimée sur ses deux faces, dessus et dessous.

Un faisceau élastique, composé de ressorts Belleville, est intercalé entre le sommier et le piston inférieur. Ces ressorts, tendus d'avance dans une certaine mesure, sont essentiellement réglables, afin d'obtenir la compression voulue. Ils permettent une compression progressive jusqu'au redressement complet de la genouillère. L'effort de tension maximum est assez prolongé par suite des passages simultanés, aux points morts, des bielles et de la genouillère. De plus, la pression est maintenue encore pendant toute la durée de la détente des ressorts.

Le nombre de coupes de chaque groupe de ressorts est suffisant pour donner, au besoin, et sans effort excessif, la flexion normale nécessaire dans le cas éventuel où un corps étranger serait introduit dans la matière et empêcherait le rapprochement habituel des pistons compresseurs. Ces ressorts remplacent le pot de presse hydraulique.

Pour obtenir des empreintes ou des crans de rupture sur chaque

face de la briquette, il est donné, indépendamment du mouvement de réaction du piston compresseur inférieur, un mouvement mécanique à ce piston au moyen de deux leviers-cames qui le soulèvent et le font pénétrer légèrement dans l'alvéole avant l'action compressive. Les mêmes leviers permettent au piston de s'effacer quand le plateau doit opérer son déplacement. Les leviers-cames sont commandés par deux galets portés par le joug des bielles qui sert d'axe au piston démouleur.

La matière à agglomérer tombe de la bâche distributrice dans la case doseuse dont le volume est réglable. Le piston remplisseur pousse, en la tassant, la matière dans l'alvéole et comble sa capacité. Une première compression est obtenue. La briquette ainsi comprimée se présente, après quelques déplacements successifs, entre les pistons de haute compression qui agissent simultanément sous l'effet de la genouillère. On peut obtenir largement 300 kilogrammes de pression par centimètre carré sur chacune des faces de la briquette. Après quelques autres déplacements du plateau, la briquette se met en présence du piston démouleur, qui la pousse, sans chute ni choc, sur le tablier ou couloir fixe de démoulage; de là, elle peut être soit enlevée, soit conduite par une traîne jusqu'au chargement ou emmagasinage.

Cette machine se prête bien à la fabrication des briquettes de petit modèle pour la consommation domestique : il suffit d'établir un plateau avec alvéoles multiples, de manière que, à chaque coup de piston, l'on fasse plusieurs briquettes au lieu d'une seule. Cette machine permet également, par un simple changement du plateau à alvéoles et des pistons mouleurs et démouleurs, de faire des briquettes perforées.

Presse Duplex de Blanzy. — En vue d'augmenter la production, qui atteignait 9 à 10 tonnes à l'heure avec les presses Biétrix du type de 6 kilogrammes, les mines de Blanzy ont étudié une presse genre Couffinhal perfectionnée, qui produit plus que les types précédents.

La machine est une presse à moules fermés type Couffinhal donnant un tonnage double en briquettes de même poids (7 kilogrammes). Elle est disposée pour comprimer à la fois deux briquettes, tout en maintenant une entière indépendance des organes de compression. On a ainsi une pression égale pour toutes les briquettes malgré l'inégalité du remplissage des moules.

Tous les mouvements de la presse Couffinhal ont été conservés ;

mais, tandis que, dans celle-ci, une briquette se trouve comprimée

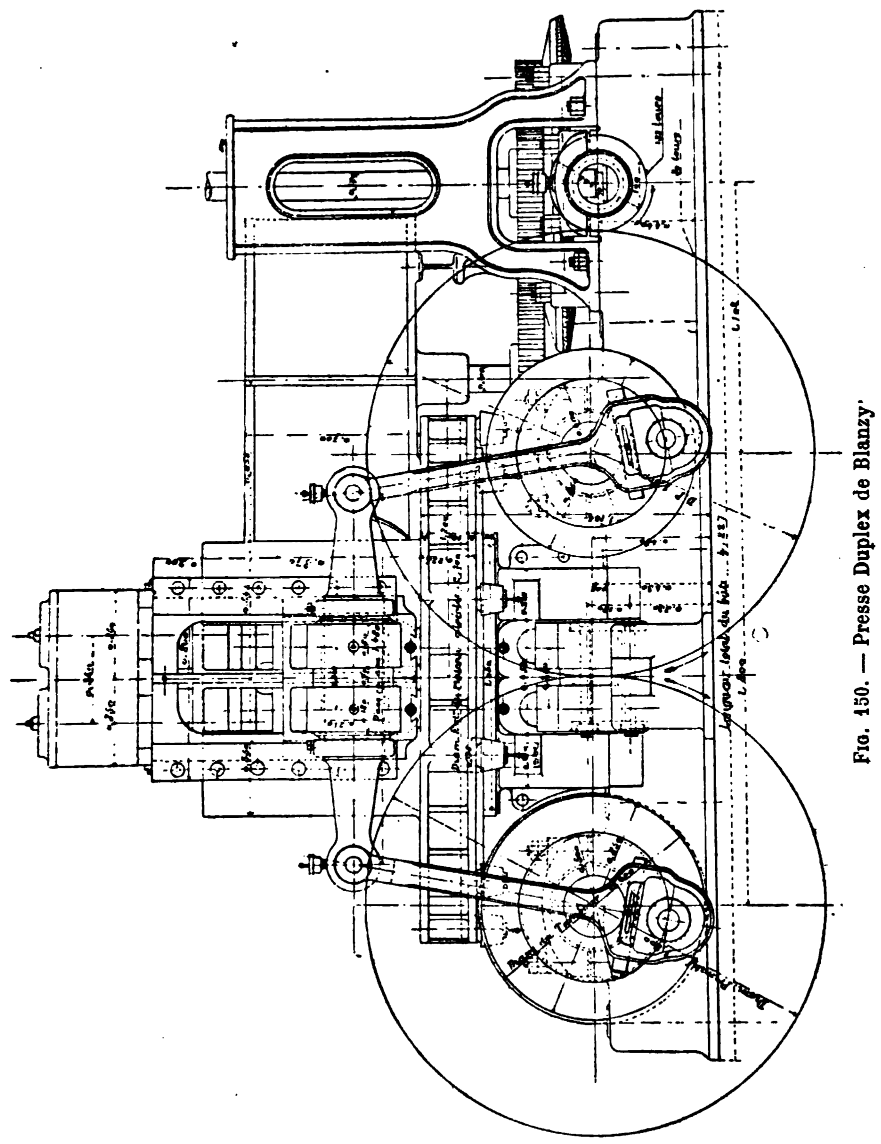


Fig. 150. — Presse Duplex de Blanzy.

entre un couple de balanciers avec cylindre hydraulique comme régulateur de pression, la presse Duplex possède deux groupes de

deux balanciers ayant chacun leur cylindre de pression hydraulique et entièrement indépendants. L'épaisseur des briquettes peut ainsi varier suivant la quantité de mélange, et le degré de compression est maintenu constant.

On a adopté une vitesse de 26 tours de came, soit 52 briquettes par minute, ou 278 tonnes par poste de dix heures.

Presse Crozet. — La presse Crozet présente une certaine analogie avec les presses Biétrix et Mazeline (*fig.* 151 et 152). Comme dans les presses Mazeline, la compression se fait dans un plateau tournant portant un certain nombre de moules ou alvéoles; chaque alvéole comporte un piston servant à la fois au moulage et au démoulage; il n'est donc pas nécessaire, comme dans les machines Biétrix, que le plateau s'arrête pendant la compression à une position absolument fixe; le jeu entre le piston et les moules peut être réduit au minimum.

Le mouvement de rotation est produit par un encliquetage actionné par des engrenages elliptiques; on a cherché, par ce dispositif, à obtenir un démarrage lent, évitant les chocs, une grande vitesse de mouvement de rotation, et un arrêt lent du plateau, ainsi qu'une mise en place sans choc du plateau pour la compression d'une nouvelle briquette. Il n'y a pas de mécanisme spécial pour empêcher que le plateau ne dépasse, sous l'action de l'inertie, la position déterminée pour l'arrêt; le frottement du piston suffit pour cela.

Chacun des pistons compresseurs vient à tour de rôle reposer sur le balancier; la pression se fait de bas en haut. Le balancier est commandé par un arbre coudé par l'intermédiaire d'un balancier qui reçoit à une de ses extrémités l'action de la bielle motrice et porte, de l'autre, le piston régulateur de pression. Ce piston, au lieu d'être hydraulique, supporte la pression de la vapeur maintenue à une pression constante, au moyen d'un détendeur; avec la vapeur, on obtient plus facilement un déplacement important du piston régulateur; la durée de compression peut être augmentée, ce qui permet d'expulser une fraction de l'eau contenue dans la pâte, et de marcher avec du charbon plus humide que ne le permettent, en général, les presses à grande vitesse.

Une boîte à friction, installée sur l'arbre de commande, glisse quand survient une résistance exagérée, qui pourrait amener une rupture.

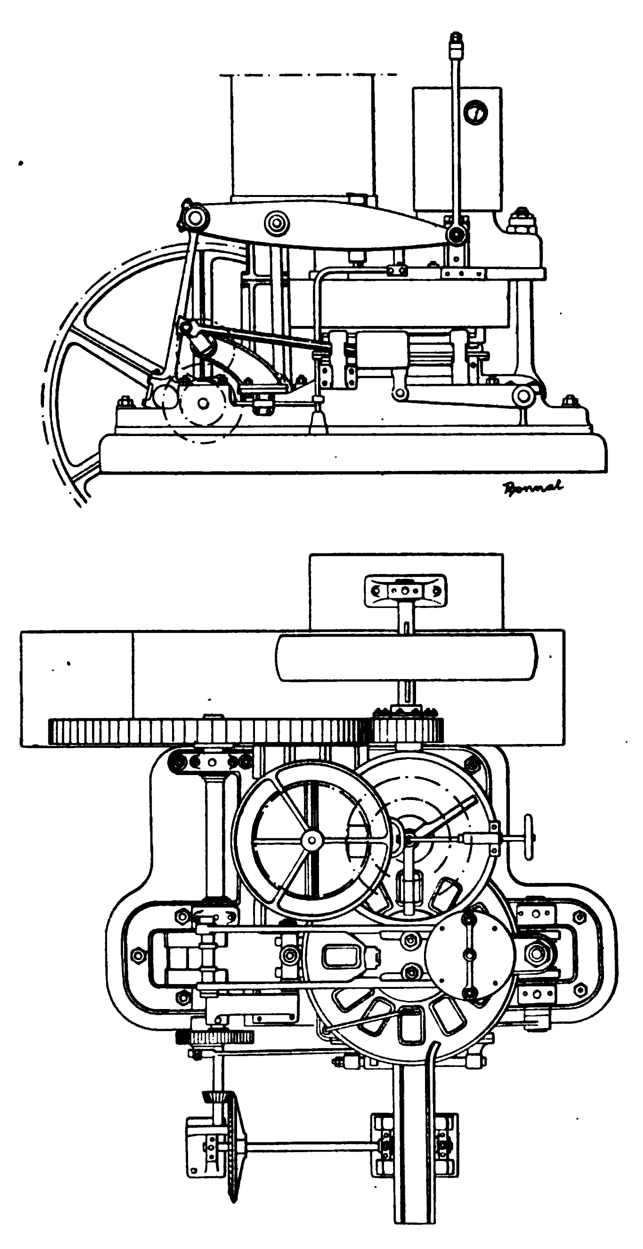


Fig. 151 et 152. — Presse Crozet.

Presse Roux-Veillon. — Dans cette presse à double compression la pression hydraulique sert à la fois d'organe de transmission de mouvement et de régulateur de pression (*fig.* 153). Des pistons plongeurs préviennent les accidents auxquels peuvent être sujettes les machines à leviers.

Le piston plongeur P reçoit son mouvement de l'arbre moteur, portant un coude et une bielle. L'eau refoulée dans le corps de pompe C′ soulève le piston P′ et la colonne qui fait corps avec le

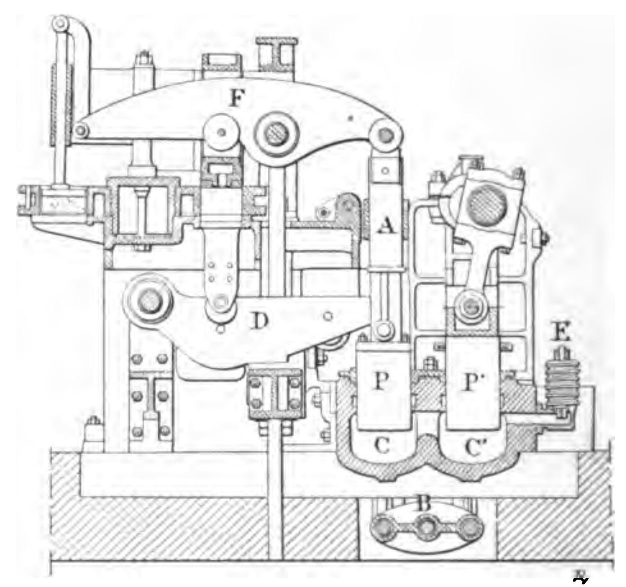


Fig. 153. — Presse Roux-Veillon.

piston. Une soupape d'échappement E, chargée par des ressorts Belleville et une soupape d'admission servent à régulariser la pression sur la briquette, comme dans le pot de presse de la machine Biétrix. La colonne A agit par son sommet et sur le balancier F qui porte le piston compresseur supérieur, et sur le balancier D qui porte le piston inférieur ; ce dernier a une course qui est les deux tiers de celle du piston supérieur. Après la compression, le piston moteur P′ se relève ; l'abaissement de P est provoqué d'abord par le mouvement de l'eau, et ensuite par le petit balancier B muni de bielles ; il ne peut, en effet, exister de liaison rigide entre les pistons P et P′ à cause de l'eau qui s'échappe par la soupape.

La rotation du plateau se fait par un encliquetage : une manivelle communique un mouvement de va-et-vient à un rochet qui agit sur les chevilles placées à la circonférence du plateau. Ce système, employé comme on l'a vu dans d'autres presses, présente l'inconvénient de ne pas assurer la position d'arrêt du plateau et, si l'on marche trop vite, le plateau va plus loin que l'extrémité du rochet. Un petit levier coudé sert à éviter cet inconvénient; l'une des extrémités du levier est poussée par l'axe du rochet, et l'autre extrémité du levier vient se mettre à l'avant d'une des chevilles, et fixer avec précision le point d'arrêt du plateau.

Les pistons mouleurs sont à circulation d'eau, et donnent de 15 à 18 coups par minute. Le démoulage se fait de haut en bas, en même temps que le moulage par un piston placé sur le prolongement du balancier supérieur.

Cette presse, qui présente beaucoup d'analogie avec la machine Biétrix au point de vue du fonctionnement, tout en étant plus compliquée, donne de bons résultats, notamment dans le Gard. A Gagnières elle fournit, en employant une pâte à 1,7 0/0 d'eau et 6,6 0/0 de brai, des briquettes dont la cohésion est de 60 0/0 ; la pression varie de 110 à 120 kilogrammes par centimètre carré. Avec des charbons différents, on obtient à Trélys des briquettes donnant une cohésion de 60 à 70 0/0; la pâte ne contient que 1 0/0 d'eau, et on emploie 8 1/2 0/0 de brai; si l'on réduit la proportion de brai à 7 0/0, la cohésion s'abaisse à 45 0/0.

Presse de la Compagnie Paris-Lyon-Méditerranée. — La Compagnie des chemins de fer de Paris à Lyon et à la Méditerranée emploie une machine à agglomérer, d'un type créé par M. A. Henry, ancien ingénieur en chef du Matériel et de la Traction de cette compagnie, et destinée à faire des briquettes de petites dimensions, ayant une grande cohésion, tout en ne renfermant qu'une faible proportion de matière agglomérante.

La machine de M. Henry a donc été étudiée en vue de produire, avec des mélanges secs et pauvres en matières agglomérantes, des petites briquettes dont le poids peut descendre jusqu'à 200 grammes, ayant toutes une cohésion très grande et bien régulière, et de fournir, dans ces conditions, une production relativement considérable, eu égard au poids de la presse.

Cette machine se compose d'un nombre plus ou moins grand d'éléments identiques entre eux et contenant chacun deux moules.

Chaque moule est fixe et formé d'un cylindre horizontal ouvert à ses deux extrémités et surmonté, en son milieu, d'une petite trémie de chargement. Par l'une des extrémités pénètre le piston compresseur, mené par un excentrique; l'autre extrémité peut être successivement fermée et ouverte par un piston obturateur, conduit par une came, dont la forme est telle que le moule reste bouché pendant la période de compression, et s'ouvre rapidement lorsque le piston compresseur achève sa course en démoulant la briquette. Les arbres qui portent l'excentrique et la came sont rendus solidaires par deux engrenages.

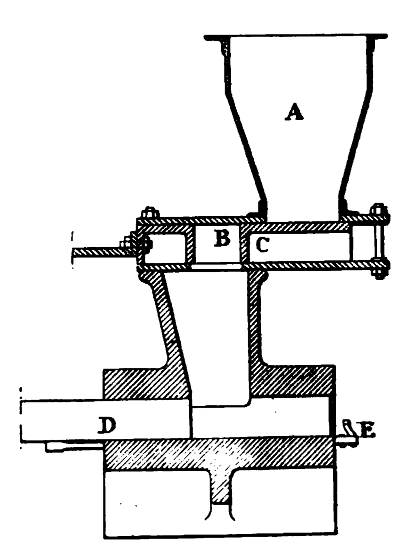


Fig. 154. — Presse de la Compagnie Paris-Lyon-Méditerranée.

Au début, le mélange à comprimer est dans le moule, déjà fermé par le piston obturateur; le piston compresseur commence son mouvement d'avancement, puis la briquette se forme par compression entre le piston qui continue sa course et l'obturateur qui n'a pas encore commencé son mouvement de recul.

Ensuite, l'obturateur a abandonné le moule, et le piston compresseur à fond de course, en a chassé la briquette. A ce moment, la machine a fait une demi-révolution. Pendant la demi-révolution qui suit, le piston compresseur recule, l'obturateur vient de nouveau fermer le moule; le mélange nécessaire à la formation d'une nouvelle briquette est introduit dans celui-ci, et, quand la demi-révolution s'achève, les choses sont remises dans l'état primitif.

La forme symétrique de la came du piston obturateur a permis de lui faire desservir un deuxième moule. Un élément de la machine se compose ainsi de deux compresseurs symétriques, travaillant alternativement chacun pendant un demi-tour, et d'une came centrale conduisant les obturateurs. On peut juxtaposer, sur les mêmes arbres, autant d'éléments semblables que l'on veut, suivant la production à obtenir. On fait varier le calage des excentriques, d'un

élément à l'autre, de manière à répartir, uniformément pour chaque tour, l'effort du moteur.

La machine est réglée pour une compression de 300 kilogrammes par centimètre carré; à cet effet, les obturateurs s'appuient sur des rondelles Belleville, dont la flexion n'est possible que sous un effort de 300 kilogrammes par centimètre carré, exercé sur le bout du piston. Pour être sûr que cette pression est atteinte, il suffit donc de voir les rondelles fléchir à chaque compression; et, pour obtenir ce résultat, il n'y a qu'à introduire dans le moule une quantité de mélange telle que, après la compression, la briquette soit un peu plus longue que l'espace minimum qui lui est réservé entre le piston compresseur et l'obturateur. Cet espace minimum est de 45 millimètres, et la briquette de 250 grammes a une longueur de 50 millimètres. Par conséquent, si l'on introduit dans le moule 250 grammes de mélange, on sera assuré que les rondelles fléchiront de 5 millimètres, et que la briquette sera soumise à une pression d'au moins 300 kilogrammes par centimètre carré.

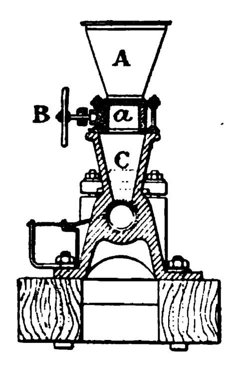


Fig. 155. — Machine à agglomérer de la Compagnie P.-L.-M.

On règle le chargement de chaque moule au moyen d'un tiroir distributeur C (*fig.* 154), conduit directement par le piston compresseur; à la fin de la période de compression, sa capacité B (*fig.* 154) se remplit du mélange contenu dans la trémie supérieure A et, quand le piston se retire, cette capacité vient se vider dans la trémie inférieure C (Voir *fig.* 155). Pour faire varier la charge du moule, il suffit donc de faire varier la capacité du tiroir, et on le fait au moyen de la clef à vis B (*fig.* 155). On augmente ou on diminue ainsi la charge, suivant que le mélange est plus ou moins compressible, en raison de son degré d'humidité, ou de la quantité de brai qu'il renferme, et jusqu'à ce qu'on ait obtenu la flexion régulière des rondelles Belleville de l'obturateur.

A côté du moule, il existe un petit levier à ressort qui tourne en bandant son ressort, chaque fois que le piston compresseur vient heurter son talon à la fin de la période de démoulage, et dont la tête fait alors office de chasse-briquettes.

Les pistons compresseurs doivent être constamment refroidis par un courant d'eau pendant la marche.

Une machine à deux éléments seulement a produit 18 tonnes de briquettes en dix heures, à trente tours par minute. Le mélange à comprimer renferme 3 0/0 d'eau et 5 0/0 de brai. La cohésion des briquettes obtenues est de 80 0/0 et plus.

TROISIÈME TYPE. — **Presses à moules ouverts.** — Le troisième type de machines à agglomérer est fondé sur l'emploi de pistons et de moules non fermés.

Presse Evrard. — Cette presse, qui produit des briquettes de forme cylindrique, a servi à l'installation des premières grandes usines d'agglomération qui aient fonctionné en France (la Chazotte et les trois usines de la Compagnie Paris-Lyon-Méditerranée : Chasse, Courbessac, Brassac).

Les pistons compresseurs oscillent devant l'entrée des moules qui sont ouverts à leurs deux extrémités ; quand le piston découvre l'entrée des moules, une certaine quantité de charbon tombe entre le piston et la briquette déjà formée ; ce charbon comprimé et chassé en avant par le piston pousse en même temps la briquette. Les moules ont une section circulaire de $0^{m},10$ à $0^{m},12$ de diamètre et une longueur égale à 4 ou 5 fois leur diamètre.

Les pistons qui compriment la pâte dans les moules ont une tête dentelée, de manière à faciliter la soudure des tronçons successifs qui arrivent à former un boudin continu que l'on coupe au sortir du moule à la longueur voulue. Ils reçoivent un mouvement alternatif rectiligne au moyen d'un tourillon monté au-dessus de l'arbre moteur. En quittant le moule, la briquette cylindrique obtenue tombe sur une sole tournante, après avoir été coupée à la longueur désirée par une barre carrée.

L'intensité de la compression est réglée par le frottement du charbon contre les parois du moule. A cet effet, l'extrémité du moule est en deux pièces dont l'une, mobile, est maintenue serrée par des boulons ou par une barre perpendiculaire agissant comme un ressort. Cette disposition augmente le frottement à la sortie et permet de faire varier la pression dans les moules.

Une presse comprend seize moules disposés circulairement autour d'un arbre vertical sur lequel est monté un excentrique dont le collier actionne les bielles de commande de seize pistons compresseurs. On fabrique donc à la fois seize boudins, et la machine peut produire de 150 à 160 tonnes par poste de dix heures.

On a pu, à Chasse, assurer une fabrication de 1.200 tonnes par jour avec quatre presses Evrard demandant, en somme, une installation mécanique très réduite. La force motrice totale nécessaire pour actionner quatre presses et leurs accessoires est de 240 chevaux.

Les presses Evrard marchent au brai fondu en employant de 8 1/2 à 9 0/0 de brai. La pâte doit tenir de 5 à 6 0/0 d'eau pour que le glissement du boudin se fasse bien et que la fabrication soit régulière.

Un des principaux avantages de la machine Evrard consiste dans la grande homogénéité des briquettes obtenues, dont la densité s'élève jusqu'à 1,36, grâce à la faible épaisseur de la couche sur laquelle s'effectue la compression.

Mais son emploi oblige à marcher presque toujours au brai gras ou avec un mélange de brai sec et de goudron, ce qui rend difficile la combustion sans fumée ; en outre il y a une perte de force relativement considérable due à l'emploi d'un excentrique. Cette perte est sensiblement égale au travail qu'exige la poussée de la pâte dans les moules. Aussi, même en opérant avec de la pâte au brai gras, cet appareil exige-t-il 6 à 7 chevaux par tonne et par heure. Malgré ces inconvénients, la machine Evrard a rendu de grands services en France avant d'être remplacée par d'autres appareils d'un entretien moins dispendieux.

Presse Bourriez. — Il existe plusieurs variantes de cette machine, dont l'une est munie d'un perfectionnement imaginé par M. Guinotte, administrateur des Charbonnages de Mariemont (*fig.* 156).

La presse Bourriez est, comme la presse Evrard, une presse à moule ouvert dans laquelle l'intensité de la compression est réglée par le frottement de l'aggloméré contre les parois du moule. Les deux moules parallèles horizontaux ont une section de $0^m,220$ sur $0^m,150$ et une longueur de $1^m,67$. Ils comportent une partie inférieure fixe et une partie mobile pressée par des leviers à contrepoids. Un piston, dont la course est de 300 millimètres, pénètre dans chacun des moules et produit à chaque coup une briquette de 150 millimètres de longueur, en faisant avancer d'autant la pâte contenue dans le moule. Les deux pistons sont commandés par un arbre à deux coudes calés à 180°. La tige des pistons porte un appareil hydraulique qui a pour but de faire travailler les manivelles et les bielles également dans les deux sens ; quand un piston avance pour comprimer la pâte, il est aidé

par la pression de l'eau sur le piston hydraulique. Quand le piston recule, son mouvement est ralenti par la résistance de l'eau, qui est refoulée dans la capacité engendrée par l'autre piston qui se meut en sens contraire.

Les mouvements des deux pistons parallèles ne sont pas tout à fait symétriques. Pour obvier à cet inconvénient, M. Guinotte a imaginé un petit plongeur de 25 centimètres de diamètre chargé de contrepoids, qui régularise l'usure et la fatigue de l'arbre coudé.

Les moules s'usent rapidement par suite du frottement du charbon; on rabote les moules toutes les six semaines pour parer à l'usure inégale. A Mariemont, ces presses produisent 150 tonnes à l'heure,

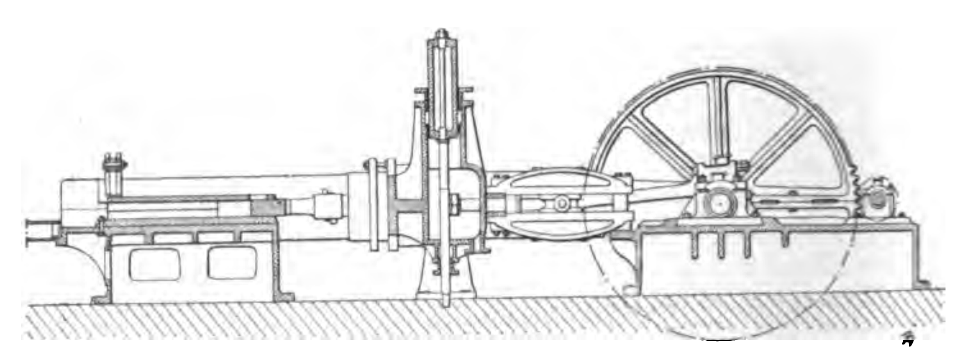


Fig. 156. — Presse Bourriez.

soit 44 briquettes de 4,5 à 5 kilogrammes par minute, l'arbre coudé tournant à la vitesse de 22 tours par minute. La compression expulse une certaine proportion d'eau de la pâte qui contient, à son entrée dans la presse, 8 0/0 de brai et de 13 à 14 0/0 d'eau. Les briquettes tombent, à leur sortie du moule, sur une toile sans fin placée dans le prolongement du moule.

Il existe une variante de la presse Bourriez qui se distingue de la précédente par la suppression d'un moule, d'une coude à l'arbre de commande et de l'appareil hydraulique. On trouve un modèle d'une presse de ce genre à l'usine de Flers appartenant à MM. Dehaynin : la course du piston est de 300 millimètres; les briquettes ont 190 millimètres de longueur, 220 de hauteur et 300 de largeur. En douze heures, la machine produit 100 tonnes de briquettes en employant des charbons à 13 0/0 de matières volatiles auxquels on mélange

8 1/2 0/0 de brai. Les briquettes contiennent 17 0/0 de matières volatiles; leur cohésion est de 51 0/0. Le charbon, moins fin que celui que l'on passe à Mariemont, ne contient que 6 0/0 d'eau : il est emmagasiné dans des tours d'égouttage de 350 tonnes de capacité, placées près d'un lavoir voisin.

La presse Bourriez, que l'on emploie surtout en Belgique et dans le Nord, donne d'excellents produits avec une main-d'œuvre très réduite, si l'on y traite des charbons d'humidité moyenne. Elle consomme environ 1 0/0 de brai de plus que les presses à moule fermé. La fabrique d'agglomérés de la Compagnie des mines d'Ostricourt est munie d'une presse Bourriez produisant des briquettes de 9 kilogrammes.

Quatrième type. — **Presses à briquettes perforées.** — Dans la fabrication des briquettes perforées on obtient les perforations de trois manières différentes : 1° après que les briquettes ont été comprimées; 2° pendant la compression; 3° avant la compression. Dans ce dernier cas les broches de perforation sont placées dans le moule avant que le piston de compression entre en action.

Lorsque les perforations sont rondes et de faible dimension et que les broches de perforation doivent traverser la briquette comprimée, il y a toujours grand risque de briser les broches; ce risque est réduit de beaucoup, si l'on pratique les perforations pendant la compression; mais, dans ce cas, la difficulté consiste en ce que les broches de perforation s'encrassent surtout du côté de l'épaulement.

Les perforations se font de différentes formes; quelquefois elles sont circulaires, d'autres fois carrées; mais elles affectent le plus souvent la forme d'un losange.

Les perforations s'obtiennent facilement avec des broches fixes introduites dans les moules de la presse Dupuy. Quand on utilise les presses Biétrix, on a recours au piston système de Place. Les broches correspondent aux trous et sont alors reliées directement à la bielle ou au balancier moteur. Le piston qui doit agir sur la face supérieure de la briquette est enfilé sur les broches et pressé de haut en bas par les ressorts énergiques fixés aux broches ou maintenus par un contrepoids. Après que les broches ont pénétré dans le moule, le piston vient au contact de la pâte qu'il comprime en bandant les ressorts. Avant que le piston abandonne la face supérieure de la briquette, les broches commencent à se relever sans entraîner la briquette, ce

qui rend le démoulage facile. Une presse Biétrix pour briquettes perforées de 3 kilogrammes produit 32 briquettes par minute, soit environ 6 tonnes à l'heure.

Presse des Forges et Chantiers de la Méditerranée. — Ce dispositif est spécialement applicable à la presse à briquettes Mazeline travaillant avec ou sans pression hydraulique; mais elle peut, naturellement, s'appliquer à un autre type de machine construite sur le même principe.

La sole de moulage est, comme d'ordinaire dans cette classe de machines, pourvue d'un certain nombre de moules disposés suivant les rayons; ces moules sont munis de garnitures démontables. Les perforations sont produites par des broches fixées à des entretoises montées dans le fond des moules. Ces entretoises glissent dans des coulisses ménagées dans le corps des pistons compresseurs. Les têtes des pistons sont couvertes par une plaque, également pourvue de trous, qui leur permettent de glisser facilement le long des broches. Il est évident que le nombre et la forme des broches peuvent varier quand on veut obtenir des perforations de forme ou de nombre variables. Les moules sont également pourvus de rainures latérales qui facilitent le cassage dans le feu ou au marteau, sans beaucoup de déchet.

Cinquième type. — **Presses à boulets ovoïdes.** — Ces machines sont construites sur un principe tout à fait différent de celui des presses que nous venons de passer en revue. La pâte est moulée dans des alvéoles pratiqués à la circonférence de deux cylindres tournant tangentiellement en sens contraire avec des vitesses égales.

Les premières machines construites sur ce modèle pour la fabrication des briquettes avaient été abandonnées à cause de la consommation exagérée de brai et des déchets auxquels elles donnaient lieu. On les applique aujourd'hui à la fabrication de boulets aplatis, et non plus de briquettes rectangulaires. Cette forme favorise le démoulage, diminue la consommation de brai; les boulets ovoïdes ont une grande résistance. Les machines à boulets ovoïdes sont d'origine belge et appartiennent à trois types principaux construits par les maisons Robert (de Gilly), Fouquemberg (de Wasmes), et Zimmermann-Hanrez (de Montceau-sur-Sambre).

Presse Zimmermann-Hanrez. — Dans la machines Zimmermann-Hanrez et Cie, de Montceau-sur-Sambre (*fig.* 157), les deux

cylindres mouleurs sont actionnés par deux engrenages égaux ayant même diamètre que les cylindres et tournant à la vitesse de 5 tours à la minute. Avec ces machines, on emploie la marche au brai sec (6 à 8 0/0), et le chauffage à la vapeur avec une pâte suffisamment humide. Le malaxeur placé au-dessus des cylindres les emboîte exactement ; la pâte est ainsi distribuée par le mouvement même des cylindres, et tombe, après compression, dans un récipient placé sous les cylindres. Il faut veiller à ce que la surface des alvéoles reste bien lisse et à ce que la pâte ait le degré d'humidité voulu, si l'on veut que le démoulage s'opère avec facilité. Une grille

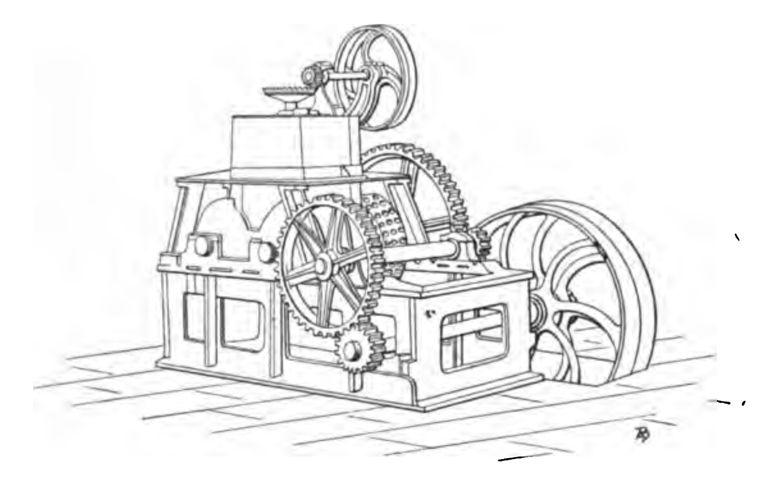


FIG. 157. — Presse Zimmermann-Hanrez.

à barreaux fixes placée sous les cylindres compresseurs retient les bavures dues au jeu existant entre les cylindres ainsi que les morceaux des agglomérés qui se brisent au sortir des alvéoles. En tenant compte du déchet de fabrication, dont l'importance est de 4 0/0, une machine Zimmermann fabrique, à Blanzy, 7 tonnes à l'heure ; la force motrice employée est de 36 chevaux en marchant à plein et de 19 chevaux en marchant à vide.

Presse Fouquemberg. — Cette presse (*fig.* 158 et 159) se compose de deux rouleaux tournant l'un contre l'autre en sens inverse, et couverts symétriquement de demi-moules, disposés comme des alvéoles ; les demi-moules de l'un des rouleaux viennent coïncider exactement, à la ligne de contact, avec ceux de l'autre rouleau, pour enfermer et mouler la matière à agglomérer.

Les boulets formés s'échappent par la rotation des cylindres : leur démoulage s'opère tout naturellement par l'effet de la pesanteur.

L'appareil est commandé par deux poulies, fixe et folle, dont l'arbre porte deux vis sans fin entraînant en sens inverse deux engrenages hélicoïdaux calés sur les arbres des cylindres.

L'arbre qui porte les deux vis sans fin inverses n'a pas de gorge et peut se déplacer longitudinalement. Lorsque les vis et les engrenages ont la même dureté, les vis travaillant en sens opposé s'usent également et conservent les demi-moules des deux rouleaux en coïncidence parfaite. Mais, si les vis et les roues hélicoïdales

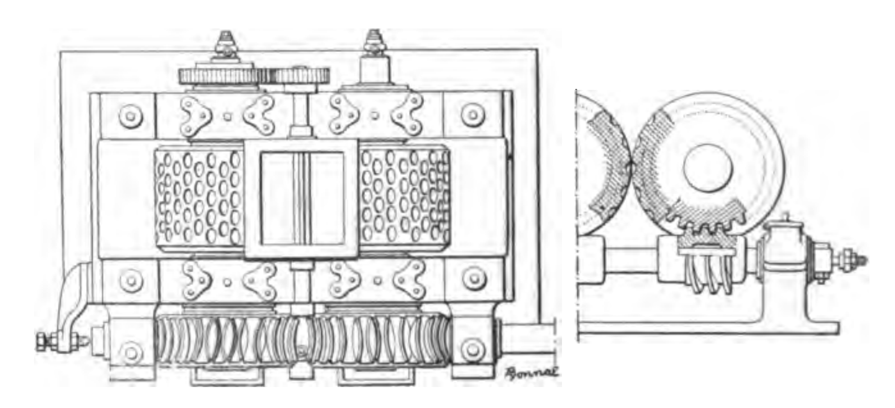


Fig. 158 et 159. — Presse Fouquemberg.

s'usent inégalement, il suffit d'un déplacement longitudinal de l'arbre des vis pour ramener les demi-moules des deux rouleaux en correspondance exacte. En effet, si l'on fait glisser horizontalement l'arbre dans un sens, les vis sans fin font tourner, comme le ferait une crémaillère, les roues hélicoïdales dans le même sens; les tambours mouleurs suivent ce mouvement, et les demi-moules ont tendance à se rapprocher. Il y a un point où ces demi-moules se correspondent exactement.

Dans la disposition que nous avions décrite auparavant, les rouleaux sont commandés l'un par l'autre, au moyen d'engrenages ordinaires. L'usure des dents d'engrenages a pour effet de faire remonter les demi-moules de l'un des rouleaux et d'abaisser ceux de l'autre, mais, comme les moules ne se correspondent plus, on obtient des boulets irréguliers.

C'est à cet inconvénient que remédie le système Fouquemberg. Les vis sans fin de ce système simplifient considérablement la transmission de mouvement aux rouleaux, qui font quatre tours, tandis que les vis en font cent.

Pour arriver à la même réduction de vitesses avec des engrenages ordinaires, il faut nécessairement les multiplier.

Les vis sans fin baignent constamment dans l'huile; elles sont en fonte d'acier, comme les roues hélicoïdales. Le moyen de réglage employé permet de les user jusqu'à leur limite de résistance.

Les paliers des arbres des rouleaux moteurs sont à rattrapage de jeu, ce qui permet de remédier à l'usure des coussinets au moyen de vis de réglage et de maintenir constamment les rouleaux à l'écartement convenable.

Quand on emploie la vapeur surchauffée pour économiser le brai, la pâte sort très chaude du malaxeur et, quoiqu'elle soit conduite au malaxeur par une vis sans fin en relation avec un petit aspirateur de vapeur, elle échaufferait encore trop les cylindres et rendrait le démoulage difficile. Afin d'éviter cet inconvénient, on emploie des cylindres creux pour permettre leur refroidissement lent au moyen d'une circulation d'eau que l'on règle à volonté. Au moyen de ces cylindres, on peut faire des boulets de toutes formes; mais la forme ovoïde, un peu aplatie, est consacrée par l'usage.

On arrive aussi à faire le boulet creux : il suffit à cet effet de suspendre un peigne, composé de barres rondes, entre les rouleaux; les boulets se moulent autour des barres comme de grosses perles.

C'est là toutefois une complication que l'on peut éviter en faisant le boulet plus mince. D'ailleurs, dans les foyers, ces petits agglomérés n'ont entre eux que fort peu de points de contact et laissent assez de vides pour qu'il ne soit pas nécessaire de les perforer.

La fabrication des boulets ovoïdes se fait au brai sec, comme celle des briquettes. Cette forme d'aggloméré permet de consommer de très mauvais charbons; aussi l'appareil de M. N. Fouquemberg s'est-il répandu rapidement, surtout à l'étranger, notamment en Serbie (Radujevac) et en Hongrie (Salgo Tarjan).

Parmi les presses à agglomérés ovoïdes, nous signalerons aussi celles de MM. Huttemann et Spiecker et celles de Mulheim et Zimmermann, dont on trouvera la description dans le *Colliery Guardian* (2e semestre 1897).

La presse à boulets de la Société de constructions mécaniques d'Alais se compose de deux ou quatre plateaux circulaires clavetés sur deux axes parallèles, et tournant tangentiellement en sens contraire ; ces plateaux, qui sont commandés par des engrenages à chevrons, portent à leur périphérie des alvéoles offrant la capacité d'un demi-boulet. Un tiroir assure le remplissage des alvéoles et évite les engorgements en agissant au-dessus du contact de chaque couple de plateaux.

CINQUIÈME PARTIE

COKE

CHAPITRE XX

DÉFINITION ET EMPLOIS DU COKE

Propriétés physiques. — Résistance. — Dureté. — Porosité. — Poids spécifique. — Couleur. — Sonorité. — *Propriétés chimiques.* — Teneur en carbone. — Teneur en matières volatiles. — Teneur en eau. — Teneur en soufre. — Teneur en phosphore. — Impuretés diverses. — Teneur en cendres. — Pouvoir calorifique. — Analyse chimique. — *Emplois dans l'industrie.* — Emploi dans la métallurgie. — Emploi sur les locomotives. — Emplois divers.

Il ne sera pas question ici du coke de gaz, ce qui nous entraînerait en dehors de notre sujet. On parlera uniquement du coke produit dans les fours à coke et servant soit à la métallurgie, soit au chauffage des locomotives, soit à diverses industries.

Propriétés physiques. — Comme pour les autres combustibles, nous définirons d'abord les propriétés physiques du coke.

Résistance. — La résistance est la première des qualités d'un bon coke. Étant données les pressions de vent actuellement employées dans les hauts fourneaux, on conçoit que l'on doive disposer d'un agent résistant. La résistance à l'écrasement doit être d'autant plus grande que la charge est plus profonde ; un autre genre de résistance consiste en ce fait que le coke ne puisse pas être pénétré par les gaz.

Dureté. — La dureté dépend de la nature des cavités qui se trou-

vent dans le coke. Les parois de ces cavités doivent avoir une certaine résistance. Lors du transport, on ne tolère que 6 0/0 de déchet pour excès de friabilité. Pratiquement on peut déterminer la friabilité, qui dépend surtout de la dureté des cavités, en frottant l'un contre l'autre deux morceaux de coke de même fabrication. Celui qui s'écrase le moins est le meilleur.

Le coke devra donc être non pas friable, mais dur. La qualité des charbons employés pour la carbonisation possède, à ce point de vue, une grosse influence. Le coke de charbons voisins des charbons maigres ne résiste qu'à une pression de 115 kilogrammes par centimètre carré. Le coke d'un bon charbon gras résiste, au contraire, à une pression qui atteint 170 kilogrammes par centimètre carré. Avec les houilles riches en matières volatiles, on retombe au chiffre de 120 kilogrammes par centimètre carré en moyenne.

Un autre élément qui influe sur la dureté est la teneur en silice des cendres. Des essais faits par M. Oscar Simmersbach ont donné à ce propos les résultats suivants :

TENEUR EN CENDRES	TENEUR EN SILICE	RÉSISTANCE PAR CENTIMÈTRE CARRÉ
10,14	66,00	98 kilogrammes
9,17	60,25	115 —
9,97	25,70	160 —
8,11	28,36	170 —
9,20	28,59	175 —
7,79	25,28	175 —

En diminuant les teneurs en cendres et en silice, on augmente donc notablement la résistance du coke.

La dureté dépend aussi du mode de cuisson et de la forme du four employé.

C'est ce que nous dirons au chapitre Théorie de la carbonisation.

Porosité. — A côté de la résistance, le coke doit posséder une autre qualité qui ne semble pas compatible avec la première, mais qui est des plus nécessaire, étant donnés les emplois du coke. Nous voulons parler de la porosité.

Un coke peut être dur et poreux à la fois. Il suffit qu'il présente

des cavités nombreuses ou grandes et que les parois de ces cavités soient bien résistantes.

Le grain du charbon exerce à ce point de vue une certaine influence. Plus le grain est fin et régulier, plus le coke sera compact, et inversement.

Certains charbons gonflent facilement et produisent un coke avec de belles cavités. D'autres, au contraire, qui fondent aisément, ne donneront pas un coke aussi poreux.

Enfin la porosité peut être fonction du mode de carbonisation et de la forme du four employé. Un charbon contenant beaucoup de matières volatiles devra être cuit très rapidement pour donner un coke poreux. On peut, suivant les cas, avoir de 29 0/0 à 40 0/0 de pores si la carbonisation se fait en vases clos. Dans les fours ouverts, au contraire, où la carbonisation est lente, la proportion des cavités ne dépasse pas 15 0/0.

Dans un même four d'ailleurs, les couches successives de coke n'ont pas la même porosité. Les cokes des couches de tête et de pied sont toujours plus poreux que ceux des couches moyennes.

A ce point de vue, il se produit, lors de la carbonisation, les phénomènes suivants.

Pendant que les produits gazeux se développent, ils sont forcés de traverser la charge et de passer sur du coke déjà formé et rouge. Or beaucoup de ces produits volatils, comme les hydrogènes carbonés, sont décomposés : une partie de leur carbone se dépose sur la surface du combustible rouge. Les cokes contiennent donc, à côté du charbon qui provient de la décomposition immédiate de la houille, du carbone déposé par la décomposition, plus ou moins secondaire, des carbures d'hydrogène volatils. Cette dernière partie du carbone se reconnaît à l'œil et se distingue du reste de la masse par l'absence de porosité et par sa couleur mate, d'un noir foncé.

Le même phénomène de décomposition des carbures explique les excroissances piliformes, qu'on observe souvent à la surface du coke et qui atteignent jusqu'à 2 et 3 centimètres de longueur. Ces appendices, étudiés au microscope, sont pleins ; leur aspect rappelle celui d'un cordon de perles, et ils sont exclusivement formés de carbone. Très vraisemblablement, ces excroissances sont dues aux gaz, qui se dégagent de la houille grasse et qui, partant bulle à bulle, soulèvent et allongent successivement la matière solide, en formant des renflements. Ces renflements se trouvent

ensuite remplis par le charbon, qu'abandonnent les carbures en se décomposant.

Poids spécifique. — Le poids spécifique du coke varie de 1,20 à 1,90 tandis que nous avons donné pour la houille des chiffres qui variaient de 1,25 à 1,75. La nature des fours employés exerce une influence sur ce chiffre.

Un mètre cube de coke en morceaux pèsera pratiquement de 350 à 450 kilogrammes. En moyenne, il faut admettre 420 kilogrammes. Par le pilonnage, le volume du coke peut être réduit de 25 0/0.

Couleur. — La couleur du coke est essentiellement variable.

Parfois, elle est noire et sans éclat; quelquefois elle tourne au gris clair avec vif éclat métallique ou argentin. Il y a parfois aussi des teintes irisées à la surface, que l'on attribue à la présence du soufre.

La meilleure couleur est celle qui va du blanc d'argent au gris clair, la poussière paraissant gris foncé ou même noire.

On remarque souvent à la surface du coke des stries ou des raies de couleur différente, ainsi que des résidus de cendres blanches qui proviennent d'une carburation incomplète. Avec des charbons anthraciteux, il y a toujours des raies noires de carbone non brûlé. Les taches noires sont aussi formées par du protosulfure de fer, résidu de la pyrite brûlée.

La couleur dépend de la nature des fours employés et du mode de cuisson adopté. Quand on récupère les sous-produits, le coke n'est jamais argenté.

En somme, la couleur n'est pas toujours un indice parfait de la bonne qualité d'un coke. Cette couleur peut d'ailleurs varier lors de l'extinction par l'eau. Si l'eau employée est sale, des particules se déposent sur la surface du coke et en ternissent l'éclat.

Sonorité. — Ce qui est plus spécifique pour déterminer la bonne qualité, c'est le son que rend un morceau de coke, quand on le frappe. Le bon coke doit avoir un son métallique. Un son lourd et grave n'est jamais l'indice d'un coke de bonne qualité.

Propriétés chimiques. — Au point de vue chimique, le coke contiendra du carbone, de l'hydrogène, de l'oxygène, de l'eau, de l'azote, du soufre, du phosphore et diverses impuretés de moindre importance : c'est-à-dire tous les principes existant dans la houille qui a donné naissance au coke.

Le tableau suivant donne un exemple des teneurs dans divers pays.

	CARBONE	CENDRES	SOUFRE	HYDROGÈNE	OXYGÈNE	AZOTE	MATIÈRES VOLATILES	HUMIDITÉ
Allemagne....	86,460	8,540		1,980	3,020	—	—	—
Belgique......	91,300	6,200	—	0,330	2,170		—	—
Angleterre....	93,150	3,950	—	0,720	0,900	1,280	—	—
Australie......	88,086	10,456	0,594	—	—	—	0,328	0,594
Amérique.....	89,576	9,113	0,821	—	—	—	0,460	0,300

Teneur en carbone. — Le coke est plus riche en carbone que le charbon qui lui a donné naissance. Il en résulte une plus grande valeur du coke comme combustible.

Contrairement à ce qu'on pourrait croire, cette teneur varie dans d'assez larges proportions, depuis 84 jusqu'à 94 0/0. Cela tient aux principales causes suivantes.

Le carbone qui est renfermé dans le coke provient d'abord du carbone de constitution du combustible, ensuite du carbone qui se sépare à haute température des hydrocarbures. Il est enfin le résidu des produits de distillation qui ne se sont pas entièrement volatilisés.

Les teneurs en carbone varieront donc suivant les combustibles employés et suivant la nature des fours adoptés.

Teneur en matières volatiles. — Les matières volatiles, c'est-à-dire l'hydrogène, l'oxygène et l'azote ne devraient pas exister dans le coke, puisque la carbonisation a pour but d'expulser tous les gaz de la houille. Mais cette carbonisation n'est jamais complète, et il reste toujours des gaz occlus.

Cette explication de la présence des gaz hydrogène, oxygène et azote par occlusion est fort plausible. C'est ainsi que, dans les fours à récupération des sous-produits, où les matières volatiles sont fortement aspirées, on trouve moins de gaz dans le coke que dans celui d'un four ordinaire. Ce sont les extracteurs qui forcent les matières volatiles à se dégager plus complètement.

L'hydrogène contenu dans le coke a tendance à se combiner avec l'oxygène et, par conséquent, à absorber de la chaleur pour former

de l'eau Ceci est au détriment de la chaleur développée par le carbone.

De même avec l'oxygène, si la proportion de ce gaz augmente, la puissance calorifique du combustible diminue, et il faut employer d'autant plus de coke pour réduire au haut fourneau l'oxygène du minerai.

Enfin, l'azote en excès empêche la réduction au haut fourneau en diluant les gaz réducteurs. Il se transforme d'ailleurs en ammoniaque dans l'opération au haut fourneau.

Teneur en eau. — L'eau du coke est surtout de l'eau hygroscopique qui se fixe dans les pores, au moment où l'on opère l'extinction. Il faut donc employer la plus faible quantité d'eau possible pour cette extinction et prolonger l'opération le moins longtemps possible, si le coke est très poreux.

Du coke, convenablement éteint, contient seulement 2 à 3 0/0 d'eau et au maximum 5 à 6 0/0. Le coke, complètement sec, absorbe, à la température ordinaire, seulement 1 à 2,5 0/0 d'eau, lorsque l'air est saturé d'humidité. En plongeant du coke dans l'eau, l'augmentation de poids peut être de 12,5 0/0 à 51 0/0 et atteindre 31 0/0 en moyenne. La majeure partie de l'eau ainsi absorbée peut ultérieurement s'évaporer rapidement à l'air.

Dans les achats de coke, on exige que la teneur en humidité ne dépasse pas 4 0/0. Cette humidité gêne, en effet, la marche du haut-fourneau. Il faut consommer 125 kilogrammes de coke en plus par chaque unité d'eau supplémentaire dans le pourcentage.

Teneur en soufre. — Le soufre est l'impureté la plus nuisible du coke. Il ne doit pas y avoir plus de 1,25 0/0 de soufre, pour que le combustible soit acceptable dans la métallurgie. Le soufre, en effet, rend la fonte blanche et cassante.

Ce ne sont pas toujours les charbons les plus pauvres en soufre qui donnent les cokes les moins sulfureux. Tout dépend des matières minérales qui se trouvent avec le soufre dans le charbon.

Avec la chaux et la magnésie il se forme des sulfures par réduction des sulfates dans le four à coke. C'est surtout le fer qui donne des combinaisons fixes, des sulfures, qui peuvent augmenter la teneur du coke en soufre.

Si, au contraire, le soufre existe à l'état de pyrite dans les charbons, il peut être expulsé plus aisément. A basse température, les vapeurs sulfureuses se dégagent déjà

Souvent, au moment du lavage, le soufre des pyrites disparaît à l'état d'hydrogène sulfuré. De même le soufre existant à l'état organique dans le charbon peut être expulsé par lavage.

Pratiquement on peut reconnaître un coke riche en soufre aux taches brunes avec couleurs irisées sur les bords qu'il montre après un certain temps d'exposition à l'air. Quand ces couleurs ressemblent quelque peu à celles de la pyrite, il y aura du fer combiné.

On a cherché par tous les moyens possibles à diminuer la teneur en soufre, quand elle était trop élevée. Divers essais ont été faits, notamment par MM. Calvert et Chenot qui ont mélangé du sel marin pour former des sulfochlorures pendant la carbonisation. Bleibtreu a mélangé au menu gras de la chaux tamisée pour entraîner plus tard le soufre dans le laitier. Kopp a éteint le coke avec de l'eau mélangée d'acide chlorhydrique. Scheerer a injecté dans les fours avant le défournement de la vapeur d'eau pour former de l'hydrogène sulfuré. Hoffmann a essayé des lavages au chlorure de manganèse. Enfin Grandidier a introduit dans le four de l'air sous pression chauffé à 200° ou 300° afin d'oxyder le sulfure de fer.

Quoi qu'il en soit de tous ces essais, le mieux est de n'employer dans les fours à coke que des combustibles ayant une faible teneur en soufre. Il est encore préférable de ne brûler que des produits tels que le soufre, s'y trouvant même en faible quantité, n'ait pas tendance, avec certaines matières minérales des cendres, à former des composés nuisibles plus tard lors du traitement au haut fourneau. Il faut compter qu'en moyenne le coke conservera toujours le tiers du soufre que renfermait la houille.

Teneur en phosphore. — Le phosphore contenu dans un charbon passe intégralement dans le coke. La teneur qui n'est jamais très grande varie de 0,01 à 0,02 0/0. Elle augmente suivant la qualité des charbons et sera plus élevée pour les charbons maigres que pour les charbons gras.

Le phosphore n'est pas considéré comme une impureté du coke au même degré que le soufre, car il est en général en faible quantité. Il peut parfois rendre la fonte plus fluide. En revanche, une grande quantité de phosphore diminue la résistance et l'élasticité du fer.

Impuretés diverses. — Parmi ces impuretés, il faut ranger le fer, la silice et quelques corps de natures diverses.

La teneur en fer peut varier de 0,5 à 0,9 0/0. Ce fer provient, en général, des carbonates de fer qui se trouvent mélangés au

charbon. Nous avons dit précédemment l'inconvénient qu'il y aura quand, parallèlement au fer, il existera aussi du soufre dans le coke.

La silice est nuisible en ce sens qu'elle peut diminuer la dureté du coke ; de plus, en présence du fer et de la chaux, elle augmente la proportion de mâchefer produite dans les foyers.

Enfin, comme dernières impuretés du coke, il faut citer le cuivre, l'arsenic, l'antimoine, quelquefois le zinc et le plomb qui s'y trouvent accidentellement.

Teneur en cendres. — La plupart de ces impuretés viennent, en général, dans une analyse rapide, augmenter la proportion de cendres, qui dans un bon coke, ne doit pas dépasser 9 0/0.

Si la teneur en cendres augmente, c'est aux dépens de la proportion de carbone. Le pouvoir calorifique du coke diminue alors, et c'est un écueil pour l'emploi au haut fourneau. Il faut admettre que la consommation de combustible au haut fourneau augmente de 500 kilogrammes par chaque unité de cendres en plus du pourcentage moyen qui a été indiqué.

Il y a donc intérêt à n'employer pour la carbonisation que des charbons lavés ou bien triés.

Les cendres contiennent, en général, les matières indiquées par le tableau suivant :

	COKE DE DORTMUND	COKE DE TRÉLYS	COKE DE DOUCHY	COKE DE PENNSYLVANIE
Silice	41,96	49,00	47,00	43,70
Alumine	27,01	29,00	29,74	39,30
Oxyde de fer	19,05	7,30	11,50	6,00
Oxyde de manganèse	0,37	—	0,60	—
Chaux	0,97	8,20	4,40	5,70
Magnésie	0,89	2,05	1,72	3,00
Potasse	—	0,35	2,40	—
Soude	—	1,47		—
Acide sulfurique	0,90	1,15	1,85	—
Acide phosphorique	0,73	0,12	0,46	—

Le plus souvent, on achètera les cokes selon une échelle de prix qui varie avec la proportion des cendres.

Pouvoir calorifique. — On a vu précédemment que le pouvoir calorifique d'un combustible se calculait d'après sa composition chi-

mique, et qu'il dépendait notamment de la quantité de cendres. C'est ainsi que des cokes à 15 0/0 de cendres développeront 6.600 calories, tandis que ceux à 10 0/0 donneront 7.000 calories, et ceux à 3 0/0 8.000 calories. Le coke se trouve ainsi avoir un pouvoir calorifique moindre que celui de la houille en raison de l'élimination des hydrocarbures volatils.

Dans la pratique, la température produite par la combustion dans un haut fourneau sera modifiée par diverses circonstances.

Si le coke est compact, la chaleur sera plus forte, car le combustible donnera davantage d'acide carbonique, sans que ce gaz, mis en contact avec les parties caverneuses du coke incandescent, ait tendance à absorber des calories par une transformation ultérieure en oxyde de carbone.

La température est aussi augmentée par une insufflation d'air et par un chauffage de cet air. On introduit, en somme, une certaine quantité de chaleur qui n'aura pas besoin d'être empruntée au coke. Toutefois, si l'on envoie un excès d'air, comme cet air contient les 4/5 d'azote, il y a absorption de chaleur pour la combustion de l'azote.

De même, l'eau contenue dans le coke abaisse le nombre des calories, car cette eau, pour se vaporiser, absorbe un certain nombre de calories.

Le pouvoir calorifique du coke se détermine par les mêmes méthodes qui ont déjà été indiquées pour la houille (p. 34). On fera usage des formules théoriques données ou bien on soumettra un échantillon de coke à l'essai calorimétrique dans l'appareil Mahler.

Analyse chimique. — Il faut surtout déterminer l'eau hygrométrique, les matières volatiles, les matières terreuses et métalliques.

On détermine l'eau, en chauffant à 150° et en constatant la perte de poids ; on ne peut avoir une grande approximation qu'en multipliant les prises d'essai et les déterminations de l'eau hygrométrique. Cette opération est assez délicate. On mesure dans les usines le volume de coke employé journellement, et l'on se résigne aux incertitudes provenant du changement de l'état hygrométrique, l'absorption d'eau pouvant atteindre parfois les chiffres élevés que nous avons indiqués plus haut.

Le coke des fours fermés ne devrait pas renfermer de matières volatiles. Pourtant, selon la place où le charbon est cokéfié dans le four, il peut y avoir des gaz occlus ainsi que nous l'avons dit ; il

faut donc déterminer la proportion de ces gaz; mais il faut procéder pour cela, à une prise d'essai très soignée. On calcine à température élevée soit au brûleur Bunsen, soit dans un double creuset avec les précautions déjà indiquées pour la houille (Voir page 26).

Parmi les autres matières à analyser dans le coke se trouvent le soufre, l'arsenic, le phosphore. L'analyse est assez difficile à cause de l'excès de carbone. Il en est de même pour les analyses de silice, d'alumine et de fer. Pour les trois premiers corps, on opère sur le coke lui-même. Pour les autres, on analyse les cendres. Les opérations sont longues, et le plus souvent on se contente de déterminer la proportion des cendres et de reconnaître à la loupe leur composition. Une incinération au moufle est alors seulement nécessaire.

Dans les établissements métallurgiques, on connaît le combustible qui a servi à donner le coke et le four où il a été brûlé. On se préoccupe peu, dans ce cas, des matières volatiles. Il en est de même de l'analyse élémentaire.

Pour l'emploi dans les foyers de locomotives, on envisage surtout la proportion des cendres qui ne doit pas dépasser 5 0/0. On détermine aussi la quantité d'eau. On fera la dessiccation par la même méthode et avec les mêmes précautions que pour la houille (Voir page 25). Il en sera de même pour l'incinération.

Emplois dans l'industrie. — Le coke trouve surtout son emploi dans la métallurgie pour la production de la fonte au haut fourneau. Il est aussi employé pour le chauffage des locomotives. Enfin, dans l'industrie, on utilise parfois comme combustibles des déchets de fabrication.

Emploi dans la métallurgie. — Dans la métallurgie, on emploie le coke soit comme réducteur des minerais au haut fourneau, soit comme agent producteur de chaleur dans les cubilots de fonderie.

Les qualités à demander au combustible ne sont pas les mêmes dans les deux cas. La teneur en soufre, notamment, dont nous avons parlé précédemment, en indiquant ses effets pernicieux dans le haut fourneau, gêne moins pour la fusion au cubilot. Dans le cubilot, le soufre est partiellement brûlé et s'échappe avec les gaz de la combustion, tandis qu'au haut fourneau le soufre passe dans la fonte et la rend cassante ou impropre aux usages industriels.

Un bon coke métallurgique doit répondre aux conditions suivantes :

Teneur maximum à tolérer.	Soufre	1 0/0.
	Phosphore	0,018 0/0.
	Eau	4 0/0.
	Cendres	9 0/0.
Proportion de poussière maximum à tolérer lors de la réception		6 0/0.
Proportion de pores.	Coke de haut fourneau	40 à 50 0/0.
	Coke de fonderie	25 à 50 0/0.
Résistance par centimètre carré		80 kilogr.
Poids spécifique par mètre cube après séchage à 100° pour expulser l'humidité		800 à 900 kilos.

Au haut fourneau, le coke agit et comme réducteur et comme producteur de chaleur. Il doit donc dégager surtout de l'oxyde de carbone. On choisira de préférence un coke poreux qui présentera une plus grande surface à l'oxygène de l'air. Dans le coke poreux, les gaz pénètrent plus facilement et arrivent mieux en contact intime avec le combustible.

On pourrait au haut fourneau employer du coke compact ; mais il faudrait souffler l'air sous une pression plus forte et à une température plus élevée.

Au contraire, le coke compact convient aux emplois dans le cubilot. Il faut alors obtenir la plus haute température possible en brûlant complètement le combustible et en produisant de l'acide carbonique, non plus de l'oxyde de carbone. Pour que cet acide carbonique se produise, il faut que l'oxygène lèche la surface du coke sans le pénétrer. On emploiera donc avec avantage en fonderie le coke le plus dense possible.

Dans l'un comme dans l'autre cas, il ne faut acheter des morceaux ni trop gros ni trop petits. Des morceaux petits offrent une plus grande surface à l'action des gaz, mais créent une plus grande résistance au passage de ces gaz. Des morceaux trop gros créent des vides trop considérables, et l'effet calorifique en est diminué d'autant.

Emploi sur les locomotives. — On n'emploie pas toujours le coke sur les locomotives ; mais il y a certainement de sérieux avantages à en faire usage dans certaines circonstances. Ces avantages sont les suivants.

Tout d'abord, de tous les combustibles c'est le coke qui possède la plus grande cohésion. Tandis que cette cohésion n'est que de 45,5 0/0, en moyenne, pour la houille, elle atteint 96 0/0 pour le coke.

L'emplacement occupé par le coke est moindre que celui nécessité par le charbon. C'est ainsi que 1.000 tonnes de coke occupent la place de 1.150 tonnes de charbon.

En outre, dans les stocks longtemps accumulés de combustible, il n'y aura pas combustion spontanée, comme avec la houille.

Enfin, au point de vue de la conduite des foyers, il y aura certains avantages à employer le coke.

On a moins de mâchefers, moins de croûtes qu'avec la houille et les grilles sont, par conséquent, moins attaquées. Le coke renferme moins de cendres et moins d'humidité ; la fumée est moindre, le nombre des escarbilles moins grand aussi, et c'est un avantage pour les voyageurs, qui sont toujours exposés à recevoir ces escarbilles ; on diminue aussi les chances d'incendie, quand la ligne traverse des forêts de sapins très sèches comme celles des Landes où passent les trains de la Compagnie des chemins de fer du Midi. Enfin le chauffeur conduit mieux son feu et ne craint pas de le voir tomber aussi vite qu'avec la houille. La porosité y est pour quelque chose, et le pouvoir calorifique, qui est d'une plus grande valeur, active la mise en pression de la chaudière. On peut donner, à titre d'exemple, les dimensions d'un foyer de locomotive pour chauffage au coke.

Nombre de tubes	156
Diamètre extérieur des tubes	46 millimètres
Longueur des tubes	$2^m,86$
Diamètre de la chaudière	$1^m,20$
Longueur du foyer	$0^m,85$
Hauteur du foyer	$1^m,30$
Surface de la grille jusqu'au ciel de la boîte à feu	$1^m,10$
Surface de chauffe des tubes	$58^{m2},9$
— de la boîte à feu	$4^{m2},6$
— totale	$63^{m2},5$
Surface de grille	$0^{m2},945$
Épaisseur des barreaux	26 millimètres
Espace libre entre les barreaux	24 millimètres
Pression de vapeur	10 atmosphères

En général, les principales conditions de réception imposées aux fournitures de coke dans les chemins de fer sont les suivantes :

Le coke devra présenter, au point de vue de la cuisson, toutes les qualités qui distinguent le bon coke de gaz.

Il doit se composer de morceaux gros et moyens dont les plus

petits ne devront pas passer à travers une grille à barreaux ronds non quadrillés et espacés de 4 centimètres; il ne doit contenir au maximum que 7 0/0 de cendres et doit être livré dans un état de siccité ordinaire, c'est-à-dire ne contenant au maximum que 2 0/0 d'eau.

Emplois divers. — Le coke est employé avec avantage dans la fabrication de la soude pour la réduction du sulfate de sodium. On en fait usage dans les sucreries. Il sert à fabriquer la chaux et l'acide carbonique. Enfin le petit coke sera employé dans des séchoirs industriels, pour certaines évaporations rapides, toutes les fois, en général, que la combustion n'exige pas un fort tirage.

Dans le cas de la fabrication de la soude, si le coke contient de l'azote, il se formera des composés cyanogénés. Si l'on opère la fabrication de la soude à l'ammoniaque en carbonisant la chaux avec du coke au four à chaux pour obtenir de l'acide carbonique, on vitrifie cette chaux par la présence d'un excès de fer dans le coke. Il faut donc que le coke acheté dans ce cas soit assez pur.

CHAPITRE XXI

THÉORIE DE LA CARBONISATION

Nature des charbons. — Influence des cendres sur la carbonisation. — Grain du charbon. — Mélange des charbons. — Rendement en coke. — Influence du choix des fours. — Marche de la carbonisation. — Produits de la carbonisation dans les divers fours.

Nature des charbons. — Tous les charbons ne sont pas également bons pour donner du coke, et, dans l'échelle de classification que nous avons donnée au chapitre DÉFINITION ET CLASSIFICATION DE LA HOUILLE, ce sont les qualités placées au milieu de l'échelle qui sont les plus cokéfiantes. Nous avons parlé aussi, au chapitre ESSAIS ET ANALYSE DE LA HOUILLE, des qualités agglomérantes des diverses houilles.

Il ne faut pas croire que ce soient les hautes teneurs en carbone qui influent sur la fusibilité de la houille et qui la rendent propre à la carbonisation. Les proportions d'oxygène et d'hydrogène jouent un rôle plus actif; mais il ne faut pas que ces proportions soient trop fortes ou trop faibles. Les charbons flambants, très riches en matières volatiles, ne s'agglomèrent pas. Il en est de même des charbons maigres et des anthracites. Il est, au contraire, prouvé que les meilleurs charbons à coke sont ceux qui contiennent:

Hydrogène.............................	5 à 6 0/0
Oxygène................................	10 0/0
Hydrogène libre.......................	4 —

Industriellement et pratiquement, on en est arrivé à caractériser du nom de charbons à coke les houilles à 18 ou 20 0/0 de matières volatiles.

Toutefois, comme nous l'avons dit, cette règle n'est pas sans exception, et certains charbons qui n'appartiennent pas à cette caté-

gorie peuvent donner un bon coke. On en a cherché l'explication dans un état atomique particulier où serait le carbone et qui, s'il est réalisé, peut donner du coke.

Une autre influence, qui est certainement plus grande, est celle de la manière dont se présentent les couches. Des charbons de formation géologique ancienne, à puissant recouvrement, conviennent mieux pour la carbonisation que les charbons de formation plus récente et à épaisseur faible de recouvrement. Des expériences ont été faites à ce sujet dans les bassins de la Saar et de la Ruhr en Allemagne.

Enfin, certains charbons peuvent perdre leurs propriétés cokéfiantes, s'ils ne sont pas soumis à la carbonisation sitôt après leur sortie de la mine, à cause d'une certaine décomposition à l'air. Il y aurait perte en hydrogène, surtout en hydrogène libre et fixation d'une plus grande quantité d'oxygène. La décomposition est d'autant plus active que les charbons sont plus fins, car ils présentent alors à l'oxygène de l'air une plus grande surface d'action. Nous renvoyons de nouveau aux études de M. Fayol sur la *combustion spontanée* (Voir page 12).

Influence des cendres sur la carbonisation. — Un charbon très cendreux doit être soumis à une préparation mécanique, sinon, après carbonisation, on retrouverait dans le coke la plus grande partie des cendres du charbon. En outre, ces cendres peuvent entraver la carbonisation à cause de leur teneur en silice ou en fer, éléments dont le point de fusion est élevé. Au contraire, la chaux, qui fond à plus basse température, facilitera la fusion et rendra le coke plus compact.

On lave donc les combustibles avant de les passer au four et l'on peut ainsi séparer une faible partie de la pyrite contenue. Toutefois, on n'arrive jamais à expulser complètement certaines matières organiques qui sont incorporées à la houille ou même certains schistes noirs qui lui sont intimement mélangés.

Si le charbon est très peu cendreux, il n'y a pas intérêt à le laver, surtout en raison de ce fait qu'on ajoutera toujours au charbon une certaine quantité d'humidité qui pourra gêner la carbonisation. En Amérique, dans le district de Connelsville (Pennsylvanie) et dans la Virginie occidentale, on emploie des charbons à 5 0/0 de cendres qu'on a renoncé à laver, d'autant plus que ce lavage occasionnerait souvent une perte de matières charbonneuses, et un changement dans l'état physique du combustible.

Grain du charbon. — Le grain auquel on broie, en général, le charbon avant carbonisation est un grain de 4 millimètres.

Plus le grain du charbon est fin, plus le coke est compact et plus la perte de combustible est faible. Plus les morceaux se rapprochent les uns des autres, plus ils sont petits et serrés, mieux ils se carbonisent. Il ne faut toutefois pas tomber dans un trop grand excès et employer à la carbonisation des schlamms qui donneraient un coke compact, mais inutilisable en métallurgie.

Il est bon parfois de mélanger une certaine proportion de gros. Tout dépend du modèle de four adopté. C'est ainsi qu'en Angleterre, avec des fours à ruche, on fait un bon coke avec des grains qui ont jusqu'à 9 millimètres et demi de grosseur.

Mélange des charbons. — En général, on mélange entre elles plusieurs qualités de charbons.

Dans les fours Coppée, on mélange 75 0/0 de houille grasse et 25 0/0 de houille maigre, ce qui donne un très beau coke. Au charbonnage du Phœnix (Allemagne), on emploie un mélange de 73 à 77 0/0 de charbon à 25 ou 26 0/0 de matières volatiles et de 23 à 27 0/0 de charbon maigre, à 7 ou 8 0/0 de matières volatiles. A l'usine Georg Marienhütte, près d'Osnabrück, on ajoute 25 0/0 d'anthracite de Piesberg. Dans le Pays de Galles, on fait du coke avec 60 parties d'anthracite, 35 parties de charbon bitumineux et 5 parties de brai. Les usines Landore, en Pennsylvanie, obtiennent également avec moitié d'anthracite et moitié de houille anthraciteuse un coke utilisable au haut fourneau.

L'avantage qu'on trouve à mélanger du charbon maigre au charbon gras, est d'augmenter le rendement en coke. On a vu, en effet, au chapitre DÉFINITION DE LA HOUILLE que les houilles maigres et les anthracites donnaient jusqu'à 85 et 90 0/0 de coke. De plus, le coke obtenu avec une houille maigre contiendra plus d'acide carbonique, ce qui est un avantage pour la métallurgie, tandis que le charbon à gaz donne un coke contenant de l'oxyde de carbone.

Pendant la carbonisation, les charbons riches en gaz qui se carbonisent facilement, produisent, par suite de leur tendance à gonfler brusquement, un coke poreux, léger et ayant peu de cohésion, tandis que les charbons pauvres en gaz donnent un coke compact et dense. Pour que l'opération réussisse bien, il faut que le mélange soit bien fait. Les charbons à gaz, s'ils étaient seuls, ne donneraient,

en effet, du coke que s'ils étaient comprimés, et les anthracites fourniraient un coke pulvérulent inutilisable.

Rendement en coke. — Relativement aux quantités de coke que fournissent les diverses houilles, il importe de ne pas oublier que les essais en petit, dans des creusets fermés, où l'on est maître de l'accès de l'air et de la température, donnent toujours un rendement plus élevé que le travail en grand. Nous indiquons ci-après, pour les principales espèces de houille, les rendements de coke qu'on peut obtenir.

		Rendement 0/0 en coke.
Houilles anglaises..	Pays de Galles	58 à 83
	Lancashire	52 à 62
	Newcastle	51 à 63
	Écosse	45 à 56
Houilles belges.....	Mons, flénus secs	63 à 67
	— flénus gras	68 à 71
	— fines forges	74 à 81
	Centre, houilles grasses	80 à 84
	— houilles demi-grasses	77 à 85
	Charleroi, houilles grasses	79 à 84
	— houilles demi-grasses	85 à 89
	— houilles maigres	87 à 92
Houilles françaises.	Bassin de Valenciennes, houilles grasses.	66 à 75
	— houilles grasses maréchales.	75 à 79
	— houilles demi-grasses	75 à 88
	— houilles maigres	89 à 93
	Bassin du Pas-de-Calais	62 à 90
	Houilles d'Alais	78
	— de Decazeville	60
	— de Blanzy	56
	— de Commentry	62
	— de Rive-de-Gier	65 à 76
Houilles de Prusse..	Bassin de la Saar	57 à 69

La proportion du résidu, même quand on part de houilles lavées, est extrêmement variable. La quantité de coke produite, qui reste comprise, en moyenne, entre 60 et 70 0/0, descend, pour certaines variétés (houilles du Lancashire), à 52 0/0, tandis que, dans d'autres (houilles de Mons et de Valenciennes), elle dépasse 80 0/0. Même pour une seule variété commerciale, les essais donnent, quand on les répète, des quantités de coke différentes. Généralement les écarts ne sont que de 2 à 4 0/0; mais il arrive souvent qu'ils atteignent 4 à 6 0/0, quelquefois 10 à 16 0/0, et, dans certains cas

exceptionnels, jusqu'à 23 et 25 0/0. Ces variations s'expliquent tout naturellement par ce fait que les houilles, de même provenance et de même désignation marchande, peuvent être de nature et de constitution variables.

En thèse générale, le rendement en coke dépend de trois facteurs : la quantité d'oxygène et d'hydrogène du combustible, la proportion d'humidité, la teneur en cendres.

Pour transformer 1 atome de carbone C ou 12 parties en poids en acide carbonique CO^2, il faut 2 atomes d'oxygène O ou 32 parties en poids. Pour transformer la même quantité de carbone C en méthane CH^4, il faut 4 atomes d'hydrogène H ou 4 parties en poids. L'hydrogène peut donc volatiliser une quantité quatre fois plus grande de carbone que l'oxygène.

Une trop grande quantité d'hydrogène est ainsi défavorable au point de vue du rendement en coke. Suivant que cet hydrogène sera combiné ou libre, il pourra y avoir, à teneur moyenne égale, des variations, le rendement ayant tendance à diminuer, par exemple, si la quantité d'hydrogène combiné est plus grande et si celle d'hydrogène libre est plus petite.

En très grande quantité, l'oxygène diminue aussi le rendement en coke, en ce sens qu'il gêne la régularité de la marche de la carbonisation. Il y a un dégagement tumultueux de gaz et de fumée.

Une trop grande teneur en eau hygroscopique diminue le rendement en coke. La formation de vapeur d'eau dans le four absorbe d'importantes quantités de chaleur, de sorte que le dégagement des gaz est retardé.

Parfois, toutefois, un peu d'eau dans le charbon convient mieux qu'une parfaite siccité, car cette eau permet aux particules charbonneuses de fondre plus compactes et mieux serrées les unes contre les autres, de manière à fournir un meilleur coke.

Une teneur élevée en cendres augmente le rendement en coke, mais le coke obtenu est de moins bonne qualité.

Influence du choix des fours. — Le choix des fours a une influence sur le rendement en coke. Dans les uns, on cuira rapidement; dans les autres, au contraire, l'opération sera très lente. Le choix d'un four dépend essentiellement de la nature et de la qualité des charbons à cokéfier. Suivant que dans un même four on cuira des qualités de charbon diverses, on obtiendra un rendement très différent, favorable ou défavorable.

La différence de rendement du four provient de la perte en carbone résultant de l'entrée de l'air pendant la carbonisation, de la façon de charger le four, de la fermeture défectueuse des portes, de la marche de la carbonisation.

Pendant le chargement du four comme lors de l'ouverture des portes, il s'introduit beaucoup d'air froid et il en résulte une perte de carbone. Il y a aussi une diminution de la température des flammes et, par suite, une perte de la chaleur qui devra cokéfier les matières charbonneuses. La fumée qui s'échappe contient non point de l'acide carbonique, mais de l'oxyde de carbone, ce qui prouve l'insuffisance de la combustion.

Plus on évite les entrées d'air, meilleur est le rendement. C'est bien pour cela que les fours à récupération sont ceux dont le rendement se rapproche le plus du rendement théorique, parce que les fours sont fermés de tous côtés par un lutage parfait.

Si la charge est régulièrement étendue dans le four, on n'a pas besoin de prolonger la carbonisation et le rendement en coke est plus élevé.

Si les parois d'un four nouvellement chargé sont portées immédiatement à très haute température, les gaz s'échappent tumultueusement et trop rapidement sans restituer à la masse de charbon une partie de la chaleur qu'ils emportent. Il faut alors augmenter la quantité d'air admise par les ouvraux, et cette quantité d'air supplémentaire diminue le rendement en coke ; au lieu de cet excès de pression, une légère dépression comme dans les fours à récupération est préférable.

En général, on augmentera le rendement en coke dans les fours en adoptant une marche de carbonisation telle que le défournement et l'extinction du coke soient aussi rapides que possible.

Marche de la carbonisation. — Pour effectuer la carbonisation du charbon, il faut introduire une certaine quantité d'air qui brûlera les gaz produits par la combustion. La combustion sera d'autant plus complète que l'air aura été porté à une température plus élevée.

La carbonisation commence sur les parois du four après enfournement de la charge. La masse de charbon qui se trouve ainsi en contact avec les parois chauffées forme une croûte à partir de laquelle la combustion se poursuit vers l'intérieur. La croûte s'épaissit de plus en plus, tandis que le dégagement des gaz, qui était très vif au début, se ralentit progressivement.

Pendant la carbonisation, l'eau contenue dans le charbon ne s'élimine que progressivement et non point au début même de l'opération. La première partie de l'eau se combine avec la plus grande partie de l'oxygène avant le rouge cerise ; les parties extérieures de la masse sont déjà au rouge clair. L'eau se décompose et, en traversant les couches incandescentes, elle donne de l'hydrogène, de l'acide carbonique et de l'oxyde de carbone.

Le dégagement des gaz qui commence déjà vers 100° est d'abord tumultueux puis se régularise peu à peu.

Vers 500° ou 600°, l'hydrogène libre forme avec le carbone du méthane, de l'acétylène et un produit goudronneux liquide. Puis ces éléments se combinent de nouveau et donnent des produits qui se volatilisent immédiatement.

Le point maximum de dégagement est à environ 1.400°. La température redescend ensuite à 800° avec diminution dans la production des gaz.

La nature des gaz produits dépend de la composition du charbon. Les matières organiques qui seront mélangées au charbon donneront des combinaisons nouvelles. Plus le charbon contiendra d'hydrogène, et moins il aura d'oxygène, plus nombreux seront les produits hydrocarburés et plus la température de carbonisation augmentera.

A température élevée, les hydrocarbures se décomposent et donnent du carbone, conformément à la formule suivante :

$$C^2H^4 = C + CH^4.$$

On obtiendra ainsi d'autant plus de carbone libre qu'on aura des hydrocarbures plus riches en carbone et que la température sera plus élevée.

A basse température, il se produira surtout des corps gras, tels que C^4H^6 et, à haute température, les composés de la série aromatique, tels que C^6H^6, domineront.

Lorsque la flamme cesse, la carbonisation est terminée, mais le coke contient encore des gaz, surtout de l'hydrogène et de l'oxygène qui sont occlus dans la masse sous forme d'hydrocarbures très réfractaires. Ce n'est que plus tard, au haut fourneau, que se produira le dégagement complet des gaz occlus.

La production des gaz pendant la combustion donne lieu à une diminution du volume de la masse en ignition. De là vient la forma-

tion des pores du coke. La forme de ces pores est influencée par le boursouflement de la masse, boursouflement qui se produit au début de l'opération jusqu'à une température de 600°. Du fait de la diminution de volume, il y aura aussi un certain tassement. Or ce tassement est favorable à la carbonisation, car il diminue le nombre des vides où pourrait rester l'air, ce qui occasionnerait une perte en carbone. Aussi a-t-on recours, pour certaines qualités de charbon, à un procédé de compression qui sera décrit au chapitre XXIII.

Telle est dans ses grandes lignes l'opération de la carbonisation. Cette opération dure un temps variable avec la nature des fours, la durée de fabrication étant fonction de la section transversale du four. Plus le four sera étroit, plus rapide sera la carbonisation. En général les fours étroits conviennent surtout aux charbons qui ne gonflent pas fortement.

Produits de la carbonisation dans les divers fours. — Au moment du défournement, le coke qui sort du four sous forme d'un gâteau prismatique aura divers aspects favorables ou non à son emploi ultérieur, ces aspects variant avec la manière dont la cuisson aura été opérée dans les fours.

Dans les fours Coppée, les prismes sont fendus au milieu, la marche de la carbonisation ayant lieu des parois vers le milieu du four. Les morceaux ne pourront pas dépasser ainsi comme dimension la moitié de la largeur du four. Si la chaleur a été uniforme sur les deux parois, le plan de séparation sera juste au milieu. Si le plan de séparation n'est pas bien marqué, c'est que la carbonisation a été insuffisante. Le coke sera alors spongieux et de mauvaise qualité.

Quand le four est étroit, le plan de séparation se fait perpendiculairement au milieu du four. Si le four est large, la séparation a lieu horizontalement au milieu de la charge. Si la section est un carré, la séparation se ramifie dans plusieurs directions.

En coupant transversalement le prisme de coke, on peut voir quelle a été la marche de la carbonisation. La partie supérieure a reçu la chaleur de la voûte, la partie inférieure celle de la sole, les deux autres côtés ont été chauffés par les parois. On étudiera ainsi l'action de la chaleur en divers points.

Ce fait est encore plus net, quand on fait sur le coke des essais de résistance. Dans les fours de 450 millimètres de largeur, on trouve vers les parois une résistance de 120 kilogrammes pour un mélange de charbons gras et demi-gras à 21 0/0 de matières vola-

tiles, alors que cette résistance tombe à 80 kilogrammes dans le voisinage de l'axe du four.

Dans les fours de boulanger, la carbonisation marche de haut en bas dans le même sens que la chaleur et les divisions du coke sont alors verticales. On obtient, par conséquent, des morceaux de coke très longs et en forme de colonnes. La résistance diminue de haut en bas. Elle est d'abord de 175 kilogrammes, puis de 123 kilogrammes et enfin de 80 kilogrammes.

A l'aspect du coke, on verra si la carbonisation a été bonne, quel que soit le genre de four employé.

Si l'opération de la carbonisation a été régulière, les faces du gâteau de coke sont en tête de choux-fleurs. Ces têtes ne doivent pas être noires.

Si la carbonisation n'a pas été régulière, on obtient de gros fragments qui, cassés, présentent des parties non carbonisées. Il en est de même si le coke est crevassé à l'intérieur. La dureté n'est plus alors suffisante pour l'emploi au haut-fourneau.

On remarque souvent dans le coke des fentes transversales. Ces fissures ont tendance à faire tomber le coke en petits morceaux et l'on n'a plus les morceaux allongés que recherchent surtout les usines métallurgiques.

La production de petits morceaux proviendra autant d'une très grande épaisseur que d'une très faible hauteur de la couche de charbon. En se basant sur l'expérience, on donne à Saarbrück $1^m,20$ de hauteur de couche, pour une largeur de four de $1^m,20$, et 85 centimètres pour une largeur de 90 centimètres.

Une trop grande chaleur dans le four provoque aussi la production de petits morceaux. Un courant d'air trop fort, une entrée trop brusque d'air froid occasionnent des crevassements du coke et le font tomber en petits morceaux, lors du défournement.

Enfin, près des portes des fours, on obtient toujours une surface mousseuse et friable, due à ce que la carbonisation n'a pas été complète à cause du refroidissement par les portes. En général, on retire ainsi 4 à 6 0/0 de déchet. Pourtant dans les fours à récupération, la perte est plus grande et atteint parfois 8 0/0, parce que, en dehors du manque de carbonisation par refroidissement près des portes, il y a aussi une combustion incomplète dans les parties supérieures du gâteau, où les gaz sont plus rapidement aspirés.

CHAPITRE XXII

FOURS A COKE

Historique. — Classification des fours. — *Appareils de carbonisation à l'air libre.* — Meules. — Fours Schaumburg. — *Appareils de carbonisation en vase clos.* — Fours de boulanger. — Four anglais. — Four français. — Four à ruche Eaton. — Four Gibson. — Four Appolt. — Four belge. — Four Coppée.

Historique. — D'après une patente, accordée, en 1651, à un certain Jérémias Buck pour un procédé de traitement des minerais à l'aide de la houille sans carbonisation préalable (*without charking*), on doit admettre que la fabrication du coke pour les usines métallurgiques était déjà usitée alors. Toutefois cette fabrication était encore peu connue, ainsi qu'on peut le conclure d'un ouvrage de Becker (1683), qui, pendant un séjour en Angleterre, s'occupa de la distillation sèche de la houille. Becker écrit : « J'ai trouvé un nouveau procédé pour transformer la houille et la tourbe en combustibles de bonne qualité, qui n'ont plus d'odeur. » Et plus loin : « ... Lorsque j'ai fabriqué du goudron en Angleterre... »

L'application industrielle de cette découverte paraît avoir été retardée pendant longtemps par de nombreuses difficultés. Dans l'*Histoire du Staffordshire* de Plot (1686), on trouve noté : que le produit de la carbonisation de la houille était connu et utilisé pour remplacer le charbon de bois, mais que l'effort des inventeurs était, à cette époque, dirigé vers l'introduction de ce combustible dans les usines métallurgiques. L'auteur ajoute que ce produit se prépare comme le charbon de bois et porte le nom de « coak ». C'est la première fois que ce mot est employé, et son origine est assez obscure.

Pour la première fois, en 1734, Swedenborg indique, dans son *Regnum subterraneum*, que le coke est employé, dans certains districts d'Angleterre, pour le travail des hauts fourneaux. Il résulte

du témoignage de Jars (*Voyages métallurgiques*) que, de son temps (1769), on employait, pour fabriquer le coke, aussi bien des meules que des fours fermés. La disposition et le service de ces fours sont décrits par Horn, en 1773, dans son ouvrage sur la métallurgie (*Essays concerning iron and steel*). Du temps de Watson (*Chemical essays*), l'emploi du coke était déjà général dans les hauts fourneaux anglais.

Classification des fours. — La carbonisation de la houille peut se faire à l'air libre ou en vase clos. Si elle se fait en vase clos, elle aura lieu avec une plus ou moins grande admission d'air, suivant les types de four. Enfin on effectuera ou non la récupération des gaz produits lors de la combustion.

Les meules et les fours ouverts à leur partie supérieure sont les appareils où la carbonisation se fait à l'air libre. En général, ces appareils n'ont guère qu'un intérêt historique. Aujourd'hui la carbonisation s'opère partout en vase clos. En outre, l'idée qui préside aux installations des fours à coke est non seulement de ne plus laisser brûler à l'air libre les gaz de la combustion et d'utiliser comme force motrice leurs calories sous une chaudière, mais encore d'extraire les goudrons et les substances ammoniacales que contiennent ces gaz. Cette récupération des sous-produits devient ainsi une source de gros bénéfices.

Un autre avantage dû à l'emploi du vase clos est de pouvoir carboniser toutes les catégories de houilles depuis les houilles très maigres jusqu'aux houilles extra-grasses. Autrefois, le charbon type destiné à faire du coke était celui qui contenait de 20 à 22 0/0 de matières volatiles. Les charbons plus maigres brûlaient sans se cokéfier dans les appareils employés. Les charbons plus gras donnaient un coke trop léger pour les besoins métallurgiques. Pour bien cokéfier les qualités maigres, on a fait des mélanges ou on a imaginé des fours étroits où une haute température est obtenue plus rapidement. On a eu recours également à la compression de la charge du four, compression faite avant la combustion, ou pendant la combustion, cette méthode s'appliquant surtout avec avantage aux houilles riches en matières volatiles.

Les appareils de carbonisation de la houille peuvent dès lors se diviser en deux grandes classes :

1° Appareils de carbonisation à l'air libre ;

2° Appareils de carbonisation en vase clos.

Quant aux appareils en vase clos, ils se partagent à leur tour en trois classes :

1° Fours sans récupération ;

2° Fours avec récupération ;

3° Fours avec compression.

Les types les plus usuels de ces diverses catégories seront successivement indiqués.

Appareils de carbonisation a l'air libre. — Ces appareils appartiennent à deux types distincts : les meules et les fours rectangulaires ouverts à la partie supérieure.

Meules. — Les meules qui ne sont plus guère employées étaient en faveur autrefois, en Angleterre, pour des charbons maigres. On

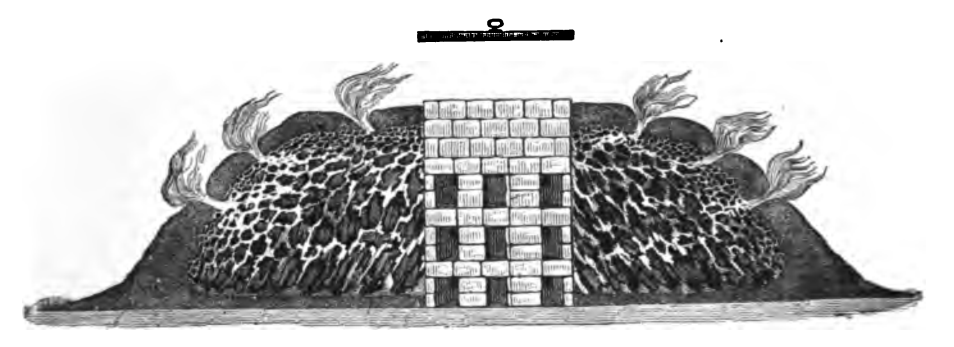


Fig. 160. — Meule pour la carbonisation de la houille.

leur donnait 5 à 6 mètres de diamètre avec une cheminée centrale en briques, munie d'évents et présentant 0m,50 de diamètre pour 1m,40 de hauteur (*fig.* 160).

La mise en feu se fait par le bas de la cheminée. On couvre la meule, vers la fin de l'opération, pour empêcher la charge de rougir. Les charbons se placent sur un plancher d'escarbilles de coke écrasées. Il faut avoir soin de mettre les gros morceaux à la base. On place les autres par lits successifs en les inclinant vers l'intérieur pour faciliter la circulation des gaz.

On met le feu aux meules à l'aide de charbons incandescents, en commençant par les parties voisines de la cheminée. Dans ces conditions, la combustion se propage du centre vers la circonférence, en sens inverse du courant d'air, qui entre dans la meule à la partie inférieure et sort par la cheminée.

Les seules différences qu'on observe entre les différents modes de conduite des meules sont relatives à leur couverture. Dans certains pays, on ne dispose pas de chemises autour des meules, au début du travail, et on ne les recouvre qu'à la fin de la carbonisation. Dans d'autres, la chemise s'établit dès le début, mais en laissant la partie inférieure nue sur une hauteur de $0^m,10$ à $0^m,20$ jusqu'à la dernière période de l'opération. Certains ouvriers enflamment la meule par le haut, en disposant le feu tout autour de l'orifice de la cheminée; d'autres mettent le feu par le bas, en jetant des matières incandescentes dans la cheminée. Dans les deux cas, la cheminée reste découverte au début.

Aussitôt que le feu a pris dans les premières couches de houille qui entourent la cheminée, il se dégage, par celle-ci, une fumée épaisse, et bientôt il sort des flammes abondantes. Si l'on n'a pas disposé de chemise au début sur la meule, on doit la construire à cet instant, pièce par pièce, en commençant par le sommet et en descendant peu à peu, au fur et à mesure des progrès de la carbonisation. Si la chemise a été ménagée dès le début, on n'a qu'à la renforcer et à l'étendre jusqu'au pied de la meule. Pendant le travail, on cherche à conserver au feu une marche régulière, en ajoutant une couche épaisse de scories, sur les points où la combustion est trop active, en diminuant le revêtement, sur les points où elle est trop lente. L'apparition de belles flammes bleues est l'indice que la carbonisation est complète. Lorsque toute la fumée a disparu, ainsi que la flamme éclairante, on bouche l'orifice de la cheminée, on renforce la chemise sur toute la surface avec des scories mouillées, et on laisse refroidir. Les petites meules restent deux ou trois jours en feu, et les grandes dix jours et plus. Avant de retirer le coke, on l'éteint en versant de l'eau par la cheminée.

Le rendement était de 60 0/0 avec des charbons maigres et de 40 0/0 avec des charbons gras; les frais s'élèvent environ à 1 fr. 25 ou 1 fr. 50 par tonne. On peut carboniser ainsi 10 à 30 tonnes de combustible à la fois. Jusque dans ces dernières années on employait les meules en Silésie.

Fours Schaumburg. — Les fours ouverts rectangulaires ou fours Schaumburg, ouverts à la partie supérieure, ont été imaginés aussi en Silésie. On en trouve parfois encore en Russie.

Ils sont formés par deux murs hauts de $1^m,57$, longs de 13 à 18 mètres et distants entre eux de $2^m,50$. A $0^m,50$ ou $0^m,60$ au-dessus

de la sole, on perce dans les murs une série d'évents placés à $0^m,65$ les uns des autres. Sur ces évents viennent aboutir des cheminées verticales.

Pour charger le four, on place une couche de menu jusqu'à hauteur des trous d'évent. Puis on dispose à travers les évents des morceaux de bois. On met encore $0^m,16$ de menu, enfin une couche de terre de $0^m,06$. On mure et l'on retire les morceaux de bois disposés dans la masse.

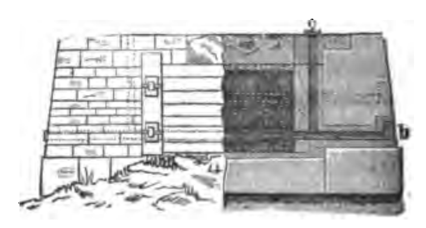


Fig. 161. — Four Schaumburg. (Coupe transversale.)

La mise en feu se fait par les évents, en ayant soin d'opérer alternativement sur les deux murs et de boucher avec un tampon la cheminée correspondant à l'évent qu'on met en feu. La marche de la carbonisation se règle ensuite par l'ouverture ou la fermeture de certains évents.

Toutes les précautions à prendre pendant le travail se réduisent à maintenir libres, à l'aide de tringles et de crochets, les carnaux horizontaux qui servent au tirage. Si l'un de ces carnaux vient à se boucher, il est bien difficile, pour ne pas dire impossible, de le dégager, et, si plusieurs s'engorgent les uns à côté des autres, le travail est forcément mauvais. Quand il fait du vent, on doit naturellement fermer plus ou moins les carnaux *b*, de façon à modérer le tirage (*fig.* 161). Toutes les fissures qui pourraient se produire, en cours de travail, dans le revêtement d'argile, doivent être soigneusement bouchées, pour éviter des irrégularités dans le tirage.

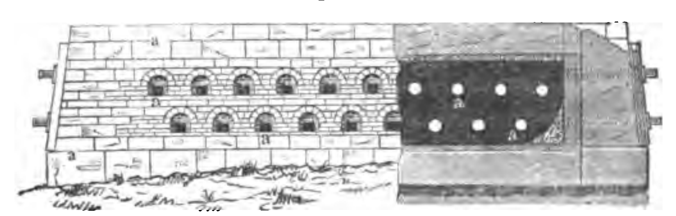


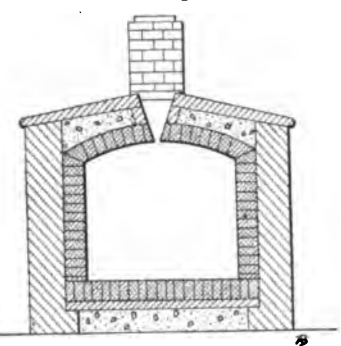
Fig. 162. — Four Schaumburg. (Coupe longitudinale.)

Au bout de huit jours, la carbonisation est complète. On le reconnaît à ce qu'il sort en *c* une flamme blanche, et à ce que la masse offre une certaine résistance à l'action d'une tige introduite

par le haut. On ferme alors tous les conduits de tirage, et, au bout de deux jours, le feu est assez éteint pour qu'on puisse démolir les murettes qui ferment les ouvertures et défourner le coke. Les canaux *b* divisent la masse de coke en deux couches superposées; la couche supérieure donne des produits particulièrement beaux; on en retire souvent des blocs de coke de 1 mètre de long sur 0m,30 de large.

On obtient un rendement de 55 à 58 0/0. L'opération dure dix jours dont huit pour la carbonisation et deux pour le refroidissement.

Avec certains charbons du bassin du Donetz on obtenait, jusque dans ces dernières années, un coke dense, d'aspect brillant et se divisant en morceaux de forte dimension. Les fours avaient 21m,30 de longueur, 2m,70 de largeur, 2 mètres de hauteur et contenaient 460 tonnes de charbon. Chaque four coûtait 2.250 francs. Il cuisait en six ou huit jours, faisant 40 fournées par an et donnait 55 0/0 de rendement. Les frais étaient de 1 fr. 50 à 2 francs par tonne de coke.



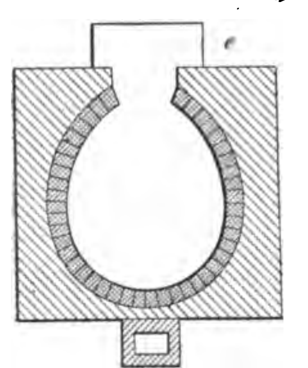


Fig. 163 et 164. — Four de boulanger pour la carbonisation de la houille.

Appareils de carbonisation en vase clos. — Cette catégorie de fours à coke est la plus nombreuse, et il faut y distinguer des types très différents les uns des autres : le four de boulanger ou four à ruche, le four Appolt, le four belge avec toutes les transformations qu'il a subies dans ces dernières années.

Fours de boulanger. — Dans ces fours, comme dans les appareils précédents de carbonisation à l'air libre, la carbonisation totale n'a lieu qu'aux dépens de la combustion d'une partie du charbon. La perte sera d'autant plus grande que l'admission d'air sera mal réglée et trop considérable.

Ces fours présentent tous une chambre de combustion presque entièrement fermée, et c'est la forme de cette chambre qui différencie les divers fours, suivant qu'elle est ovale, circulaire ou rectangulaire

et surmontée d'une voûte en plein cintre ou surbaissée. Ces fours conviennent seulement à la carbonisation de houilles grasses qui collent facilement.

Four anglais. — Le four à sole ovale est appelé souvent four anglais (*fig.* 163 et 464). Les axes de la courbe auront, par exemple, 4 mètres et 3^{m},50. La sole qu'on constitue avec des briques posées de champ sur un lit de béton, est parfois refroidie par une circulation d'air dans une galerie inférieure. Les piédroits ont une hauteur variable depuis 0^{m},45 jusqu'à 1^{m},10, suivant que la hauteur de charge de la houille est 0^{m},35 minimum ou 1 mètre maximum. La voûte a une hauteur sous clef de 1^{m},25 pour des charges de 1 mètre de charbon. Elle présente à son sommet une ouverture circulaire de 0^{m},40 par où s'échapperont les gaz de la combustion.

L'air nécessaire à la combustion arrive par la porte qui est formée d'un cadre de 0^{m},70 sur 0^{m},50 de largeur. Ce cadre comporte des registres réglables à volonté pour l'admission de l'air.

Les fours sont établis par batterie de dix ou de vingt sur un seul ou sur deux rangs, une seule cheminée recevant les produits de la combustion. Au-dessus des fours circulent des wagonnets pour l'enfournement de la houille. Le défournement se fait par la porte avec la pelle et le ringard.

La durée de la carbonisation varie avec la hauteur de la charge, ainsi qu'il suit :

24 heures......	35 à 40 centimètres de hauteur de charge.
48 heures......	50 à 60 — —
3 à 4 jours....	70 à 80 — —
5 jours.......	90 centimètres à 1 mètre de hauteur de charge.

On opère la mise en feu, puis la chaleur, gardée par les parois, suffit pour les carbonisations ultérieures. Quand la carbonisation est terminée, il faut fermer toutes les arrivées d'air et attendre le refroidissement jusqu'au rouge sombre avant d'opérer le défournement. On laisse écouler douze à dix-huit heures suivant l'importance de la charge.

Après déchargement on charge de suite s'il s'agit de houilles maigres, pour que le four n'ait pas le temps de se refroidir. Avec des houilles grasses on peut, au contraire, attendre un quart d'heure.

On charge 3.000 à 4.000 kilogrammes de charbon. Le rendement

en coke est de 62 à 65 0/0. Ce rendement est d'autant meilleur que la carbonisation est plus lente et le coke obtenu est en conséquence plus dur et plus solide, mais il diminue quand l'opération se prolonge au-delà de quatre jours, parce que le coke est trop longtemps exposé à l'action comburante de l'air.

Chaque four coûte 500 à 800 francs et peut durer deux ans. Les réparations les plus coûteuses sont celles de la porte. Les frais de carbonisation s'élèvent à 2 fr. 50 par tonne de coke.

Dans ces fours la combustion, comme nous l'avons dit, se fait de haut en bas. Il en résulte deux inconvénients. Il se formera d'abord, à la partie supérieure de la charge, une croûte qui peut empêcher la propagation de la chaleur. On obtiendra un coke poreux et friable. En second lieu, si la sole s'échauffe trop, le charbon s'effritera, et il y aura production d'un *pied noir*. C'est une double cause de déchet.

Four français. — Le four à sole circulaire ou four français opère la carbonisation de la houille de la même manière et présente les mêmes inconvénients que le précédent.

La sole a 3 à 4 mètres de diamètre. Les portes mesurent $0^m,70$ de largeur sur $0^m,90$ de hauteur. La hauteur sous clef de la voûte est, en moyenne, de $1^m,50$. Le poids du chargement est de 2 tonnes; il peut être aussi de 8 ou 10 tonnes, la durée de carbonisation variant de soixante-douze à cent vingt et cent quarante-quatre heures.

On a construit des fours de ce système en ménageant, sur tout le pourtour de la chambre de combustion, des ouvertures pour l'admission de l'air; on augmente ainsi le rendement en coke, mais le réglage est beaucoup plus difficile.

En Pennsylvanie il existe des fours hémisphériques de ce genre qui ont 3 à 4 mètres de diamètre et qui cuisent 4 tonnes de houille en soixante-douze heures.

Four à ruche Eaton. — Les fours Eaton sont disposés en ruche circulaire de 13 à 15 mètres de diamètre avec une grande cheminée centrale. Chaque four forme un des secteurs de la ruche. Il y aura, par exemple, douze secteurs.

Chaque four est muni à l'avant d'une porte et à l'arrière, du côté de la cheminée, d'un carnau, par où s'échappent vers la cheminée les produits de la combustion. La sole a une forme semi-circulaire ou semi-trapézoïdale (*fig*. 165 et 166).

Dans un massif de douze fours, on met d'abord en feu quatre fours en y brûlant de la houille à feu nu pendant quatre ou six jours. On peut charger les quatre fours du second groupe, quand la carbonisation des premiers est au tiers de sa durée. On profite ainsi pour allumer le charbon dans ces fours de la chaleur transmise par les

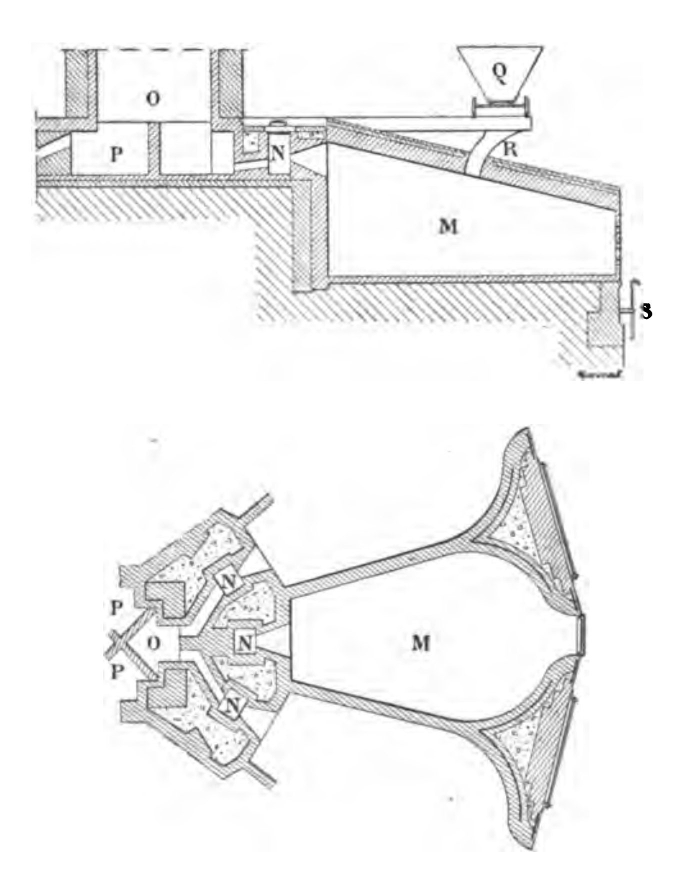


FIG. 165 et 166. — Four à ruche Eaton.

parois latérales, ces parois ayant une épaisseur très faible pour mieux transmettre les calories.

L'enfournement se fait à la partie supérieure, le défournement par la porte avec une pelle et un ringard.

Les fours ont été étudiés pour brûler 44 0/0 de charbon maigre

avec 44 0/0 de charbon bitumineux et 12 0/0 de poix. On obtient alors un rendement de 60 à 65 0/0.

Four Gibson. — Dans tous les fours précédents, le défournement se fait à la pelle, ce qui est une grosse perte de temps. Dans le four rectangulaire Gibson, ce défournement est un peu plus rapide.

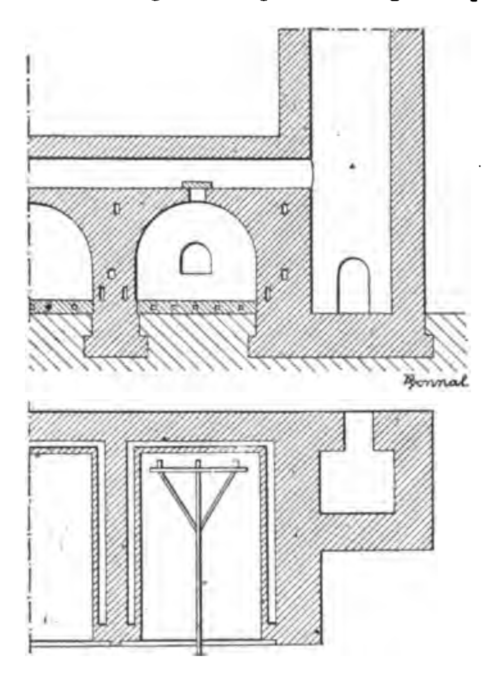


Fig. 167 et 168. — Fours à coke Gibson.

La sole légèrement évasée à l'entrée pour faciliter l'enlèvement du coke est surmontée d'une voûte en plein cintre. Au moment du déchargement, une traverse en fer, fixée à une barre ayant exactement la longueur de la sole, vient racler le combustible carbonisé et l'amène au dehors.

La sole a $3^m,69$ sur $2^m,12$. La hauteur sous clef de la voûte est de $1^m,85$. On charge 4.500 kilogrammes de charbon. La carbonisation se fait en quarante-huit heures. Avec le temps du chargement et la nécessité du refroidissement de la charge, la durée totale de l'opération atteint soixante-douze heures.

Tous les fours à ruche ou de boulanger qui viennent d'être décrits seront employés avec avantage quand le charbon gonfle facilement et quand il est de nature cokéfiante, et parfaitement sec. En revanche, la combustion d'une partie du carbone cause une grosse perte de combustible. En Amérique, avec du charbon de Connelsville à 59,62 0/0 de carbone, on retrouve dans le coke seulement 54,25 0/0 de carbone. Avec des charbons à 68,50 0/0, on n'a que 50,35 0/0 parfois. Aussi a-t-on tendance à abandonner partout ces appareils.

Four Appolt. — Ce four présente la particularité d'opérer la carbonisation en vase clos sans admission d'air. Autre particularité : il

est vertical, tandis que tous les autres fours qui vont être examinés ultérieurement sont horizontaux.

Chaque four est formé d'une chambre rectangulaire ayant $5^m,23$ de longueur, $3^m,50$ de largeur et 4 mètres de hauteur. Cette chambre est divisée par des cloisons de $0^m,12$ d'épaisseur en douze compartiments de forme pyramidale formant chacun un four. Il y a quelquefois dix-huit compartiments. Autour de chaque compartiment se

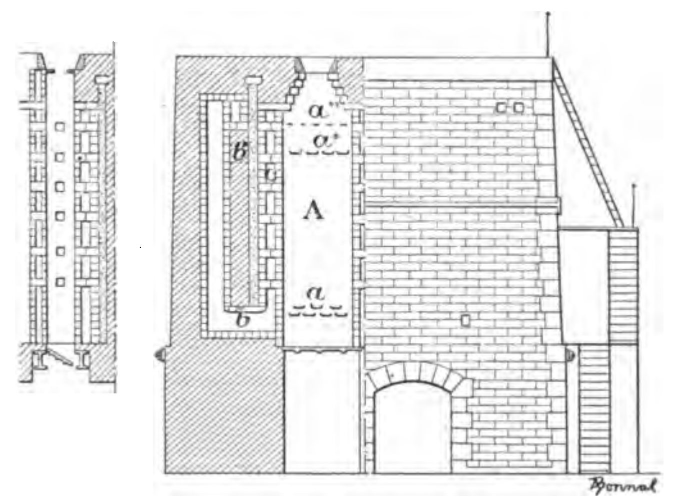


Fig. 169. — Four à coke système Appolt.

trouvent des espaces libres qui, communiquant tous entre eux, forment une ceinture à tous les fours.

Chaque compartiment est muni de deux ouvertures. L'ouverture supérieure a ses pans verticaux disposés suivant la petite face du rectangle, tandis que sur l'autre face se trouvent des gradins qui servent au chargement de la houille. L'ouverture inférieure est munie d'une porte en fonte de 2 centimètres d'épaisseur, mobile autour d'une charnière de manière à faciliter le défournement (*fig.* 169). Ce défournement se fait d'une certaine hauteur, le massif des fours étant assez élevé pour permettre aux wagons de passer sous les portes de déchargement.

Dans chaque compartiment, à $0^m,42$ au-dessus du fond, existent sur une hauteur de $0^m,15$, des évents communiquant avec les espaces libres qui entourent le four. Les évents qui mesurent $0^m,02$

sur $0^m,14$ sont au nombre de neuf sur la grande face et de trois sur la petite face.

Un peu au-dessous de l'ouverture supérieure de chargement, se trouvent, au nombre de trois seulement sur la grande face, d'autres évents analogues, servant à l'écoulement des matières goudronneuses.

Les gaz de la combustion s'échappent par des ouvraux placés les uns à la partie inférieure, les autres à la partie supérieure et formés d'un carré de 25 centimètres de côté. Ces ouvraux sont au nombre de douze. Les ouvraux supérieurs ne servent que lors de la mise en feu. Après avoir quitté le four, les gaz gagnent des carnaux verticaux, puis des carnaux horizontaux jusqu'à la cheminée commune du massif. Ils rencontrent dans ces carnaux de l'air au contact duquel ils s'enflamment.

La mise en feu d'un four s'opère de la manière suivante : on charge une certaine quantité de houille qu'on laisse brûler en maintenant le four ouvert. Quand les parois sont portées au rouge, on ferme la partie supérieure. L'opération de la mise en feu dure dix jours.

Après la mise en feu, on charge successivement 1.400 kilogrammes, dans chacun des fours et la carbonisation dure vingt-quatre heures. On obtient un rendement de 72 0/0, ce rendement pouvant atteindre 80 0/0 éventuellement.

L'avantage du four est de présenter une surface de chauffe considérable, soit 190 mètres carrés pour 17 tonnes. On peut ainsi carboniser la houille à l'état plus menu et obtenir un meilleur coke. On peut aussi traiter des qualités très maigres de charbon. Les manœuvres de défournement sont enfin plus rapides, et le four, étant donnée sa disposition verticale, nécessite un espace moindre et un encombrement moins grand.

Comme inconvénients ces fours présentent un prix d'établissement plus élevé, et une moins grande facilité pour les réparations. On ne peut pas traiter toutes les catégories de charbon comme dans certains fours belges. Des charbons trop collants ne se défournent pas. Enfin on ne peut pas toujours bien approprier les dimensions des cornues à la mesure des charbons qui est traitée.

On a fait quelques modifications de ces fours.

Palm a cherché à mieux utiliser la chaleur en établissant des cloisons horizontales qui forcent les gaz à serpenter et à rester plus longtemps en contact avec les parois du four.

Bauer a placé les portes de déchargement sur le devant du four et donné à la partie supérieure des fours une forme cintrée.

Son four peut marcher soit avec récupération des sous-produits, soit sans récupération, ou même moitié avec et moitié sans récupération dans l'intervalle d'une opération de cuisson. A cet effet, les ouvertures placées à la partie supérieure du four peuvent communiquer ou non avec une conduite collectrice de ces gaz qui les amène à des moteurs à gaz ou sous des chaudières à vapeur.

Dans les parois du four sont des carnaux verticaux disposés trois par trois, le carnau central amenant l'air et les autres contenant les gaz brûlés par l'air. Ces carnaux communiquent avec des carnaux longitudinaux séparés en trois compartiments différents, ce qui permet aux gaz et à l'air de bien se mélanger et de dégager en brûlant une chaleur bien uniforme.

Les fours ont 9 à 12 mètres de longueur pour 2^{m},20 de hauteur et 1^{m},75 de largeur. Ils auraient un rendement élevé très voisin de celui du laboratoire, et permettent l'admission de fortes charges, 10 tonnes et même 12^{t},500, si la houille est comprimée. Ce sont les fours les plus employés en Allemagne, concurremment avec les fours Otto.

Four belge. — Le principe du four belge est d'échauffer la charge par la transmission de la chaleur des parois. Celles-ci sont chauffées par la combution des gaz au contact de l'air pris à l'extérieur et préalablement chauffé lui-même. La carbonisation s'opère alors, comme nous l'avons dit, en allant de la surface externe de la charge vers le centre et, comme l'avancement est d'environ 0^{m},20 par jour, on peut prévoir que la forme la plus avantageuse à donner au four sera celle dont la section présentera un rectangle de petite base par rapport à la hauteur. On est arrivé, grâce à l'emploi de ces fours, à brûler des charbons plus maigres que ceux introduits dans les fours de boulanger ou même dans les fours Appolt. Le prisme de coke est fortement serré contre les parois, la chaleur est mieux utilisée et la perte de charbon par combustion réduite au minimum.

Le travail se divise toujours en quatre parties, quel que soit le modèle de four adopté. La première période est celle de l'enfournement du charbon. En second lieu, le charbon est échauffé progressivement par les gaz des fours voisins et donne des fumées goudronneuses. Puis les gaz qui se dégagent deviennent de plus en plus clairs; on est dans la période de carbonisation. Enfin la dernière

phase de la cokéification est celle du défournement du coke. Le temps employé pour ces diverses opérations variera avec les modèles de four considérés.

Les systèmes de fours imaginés ont été très nombreux. Dans les premiers types, on chauffait la sole seulement. Aujourd'hui on chauffe toutes les parois du parallélipipède dont se compose le four. La manière dont circulent les gaz à travers ces parois varie aussi avec les divers brevets.

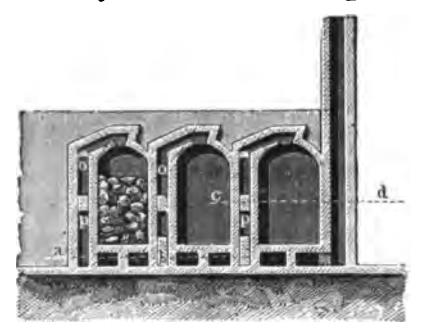


Fig. 170. — Four à coke système Smet.

Parmi les brevets qui ont été pris tant en France qu'en Belgique, nous citerons les fours *Smet*, *Brunfaut*, *Lambert* et *Dupret*, *Fromont*, *Gendebien*, *Dulait*, *François-Rexroth*.

De ces fours, les uns cuisent en 24 heures, les autres en 48 heures, la durée variant avec la largeur des fours et les fours larges convenant aux houilles grasses, les autres aux houilles maigres. Quant aux dimensions, elles sont de 6 à 9 mètres pour la longueur, cette longueur ne devant pas être exagérée pour ne pas opposer une trop grande résistance au défournement, et de $1^{m},10$ à 2 mètres pour la hauteur, une certaine hauteur permettant d'avoir un coke plus dense. La contenance varie depuis 1.000 et 1.500 kilogrammes jusqu'à 3 et 4 tonnes.

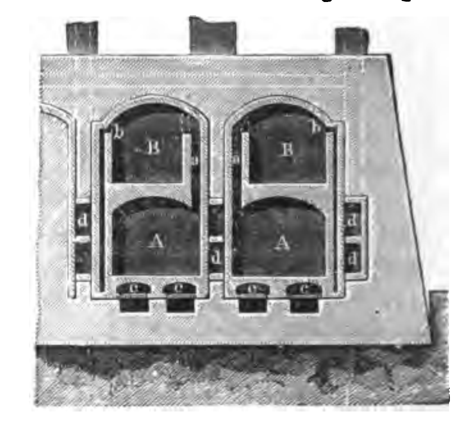


Fig. 171. — Four à coke système Fromont.

Le four Smet est représenté par la figure 170; dans la paroi, on a ménagé un intervalle qui se trouve divisé en deux carnaux *o* et *p*. Les gaz, en quittant la voûte du four, reviennent en avant dans le carnau *o*, puis en arrière dans le carnau *p* pour passer sous la sole, où ils vont aussi d'avant en arrière avant d'aboutir à la cheminée.

A cause de cette disposition, on a longtemps appelé le four Smet four à carnaux horizontaux, par opposition au four Coppée que nous allons décrire plus complètement, à cause de son emploi à peu près général aujourd'hui, et qui porte le nom de four à carnaux verticaux.

Le four Smet a trouvé de nombreux emplois à un moment donné. On en a surtout installé un grand nombre aux établissements du Creusot. Les dimensions sont 65 centimètres de largeur, $1^m,20$ de hauteur et 6 mètres de longueur.

Le four Fromont est à deux soles superposées (*fig.* 171), de telle sorte que les gaz de l'une aident à brûler les gaz qui s'échappent de l'autre. Ces gaz circulent d'ailleurs à travers les parois du four dans des carnaux horizontaux. Le four a 3 mètres de longueur, $0^m,90$ de largeur pour les fours supérieurs et $1^m,10$ pour les fours inférieurs.

Le four Gendebien est aussi à soles superposées; mais chaque four supérieur est à cheval sur les deux fours inférieurs qui le supportent.

Four Coppée. — Comme tout four belge, le type Coppée (*fig.* 172) se chauffe sous la sole et dans des carnaux latéraux par la combustion des gaz dégagés de la houille. Primitivement les carnaux étaient horizontaux, mais on y a renoncé.

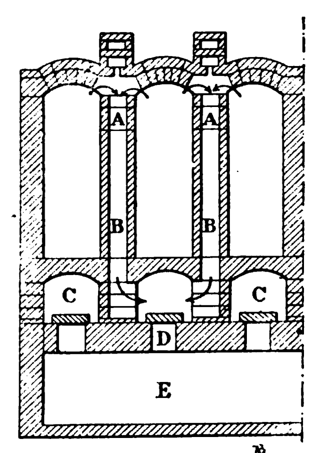


FIG. 172. — Four à coke système Coppée.

Il est assez difficile, en effet, de construire de bons carnaux horizontaux. Leur solidité n'est jamais parfaite, à moins de les constituer d'une seule pièce, sous forme de cornue, et leur étanchéité est douteuse. Les carnaux verticaux sont plus simples à établir, plus faciles à mettre en feu; ils tiennent aussi une place moins grande. Actuellement, donc, le four Coppée est à carnaux verticaux.

Le four servait surtout à l'origine pour la cuisson des houilles dites à coke, c'est-à-dire contenant 20 à 22 0/0 de matières volatiles. Aujourd'hui on peut y cokéfier diverses catégories de charbons, à condition de faire varier les dimensions linéaires. Si le combustible est plus maigre, on donnera moins de largeur et moins de longueur au four.

Les dimensions varient de la manière suivante selon les catégories de charbons employés :

Longueur	9m,00 à 10m,00
Largeur	0m,44 à 0m,55
Hauteur sous clef	1m,30

La durée de la carbonisation varie aussi avec les qualités de houille, comme le montre le tableau suivant :

		HOUILLE GRASSE	HOUILLE MAIGRE
Durée de la carbonisation		48 heures	24 heures
Section du prisme de charbon	base	0m,80	0m,40 à 0m,45
	hauteur	1m,00	0m,75 à 0m,80
Longueur de la sole		7m,00	7 mètres
Hauteur sous clef		1m,50	1m,10 à 1m,?0

Si l'on veut carboniser dans le four Coppée des charbons qui gonflent rapidement et qui risquent de détériorer les parois du four, il faut avoir soin de commencer très lentement l'opération de la carbonisation et de ne chauffer que progressivement pour ne pas avoir un dégagement tumultueux des gaz.

Le charbon aussitôt chargé est soumis à la carbonisation soit du fait que le four, sitôt après le défournement, est encore chaud, soit parce que les deux compartiments voisins sont encore en pleine combustion. On s'arrange, en effet, pour défourner, soit par série de fours impairs, soit par série de fours pairs.

Les gaz de la combustion s'échappent par 28 ouvertures placées dans la clef de voûte pour les fours de 9 mètres et par 31 ouvertures pour les fours de 10 mètres. Ils descendent par les carnaux horizontaux A et s'y enflamment au contact de l'air chaud. Sous les carnaux horizontaux A sont des carnaux verticaux B, au nombre de 28 pour les fours de 9 mètres et de 31 pour les fours de 10 mètres. Les gaz, en quittant ces carnaux, circulent sous la sole des fours pairs, puis sous celle des fours impairs, où ils trouvent un nouveau courant d'air qui les brûle. De là ils passent dans la galerie collectrice E.

Il y a deux admissions principales de courant d'air. L'une se fait par les carnaux placés à la partie supérieure des fours; l'autre se fait latéralement au passage des gaz, de manière que l'air soit chauffé avant de venir brûler les gaz.

La carbonisation achevée, c'est-à-dire au bout de vingt-quatre heures, on opère le défournement avec une défourneuse à vapeur. Ce défournement se fait de deux en deux fours, comme il a été dit.

Les mélanges de charbon seront, dans un four ordinaire :

50 0/0 de charbon à 21 ou 22 0/0 de matières volatiles
50 0/0 — à 14 ou 15 0/0 —

ou bien :

65 0/0 de charbon à 21 ou 22 0/0 de matières volatiles
35 0/0 — à 9 ou 10 0/0 —

Si la teneur en matières volatiles des charbons est très faible, on s'arrangera pour que l'air soit admis en plus grande quantité à la partie supérieure et qu'il vienne se brûler jusque dans les fours.

Au point de vue du rendement industriel, des expériences ont donné les chiffres de 76,34 et 76,20 0/0, alors qu'au creuset on obtient 76,65 0/0, les essais étant faits sur un coke à même teneur en eau, ce qui est essentiel, comme nous l'avons dit au chapitre Théorie de la carbonisation.

Quant aux quantités de charbon passées dans un four, elles sont de 2.500 à 3.000 kilogrammes, suivant les dimensions et la teneur en matières volatiles. Telle est du moins la moyenne pour des houilles contenant 17 à 18 0/0 de matières volatiles. La cuisson dure vingt-quatre heures. Si les houilles ont 20 à 25 0/0 de matières volatiles, on cuira pendant quarante-huit heures, et l'on opérera sur 5.500 à 6.000 kilogrammes de matières. Si elles contiennent, au contraire, 14 0/0 de matières volatiles, on cuira 3.000 kilogrammes pendant douze heures.

Les fours Coppée ne sont pas construits par la firme Coppée seule. car le brevet est tombé dans le domaine public. Le four Bernard dérive du four Coppée et lui est très semblable. Le four Mines de Lens est du même système. On y a augmenté seulement la hauteur, afin d'avoir une plus grande compression de la charge, les charbons traités dans ces fours contenant une plus grande quantité de matières volatiles.

Le four Coppée comporte aussi des appareils de récupération des sous-produits, les dispositions étant prises de telle sorte que la récupération puisse ou non se faire. Les appareils et la marche de la carbonisation seront identiques à ce que nous allons décrire aux chapitres suivants.

CHAPITRE XXIII

FOURS A COKE (*suite*)

Fours à récupération. — Fours de boulanger. — Four Appolt. — Four Carvès. — Four Seibel. — Four Semet-Solvay. — Four Collin. — Four Otto-Hoffmann. — Four Festner-Hoffmann. — *Fours à compression.* — Four Lürmann. — Four Quaglio. — Four Grand.

Fours a récupération. — Dans tous les appareils énumérés précédemment, on n'avait en vue que la production du coke. Mais, lors de la distillation de la houille, il se forme d'autres produits marchands. Ce sont ces produits que recueillent les usines à gaz, le coke étant au contraire pour elles un résidu, car il n'est pas métallurgique. Il était assez naturel, tout en faisant du coke métallurgique, de songer à recueillir quelques-uns des éléments chimiques contenus dans les gaz de la combustion, de réaliser la *récupération des sous-produits.*

Les premières installations concernant l'extraction du goudron dans la fabrication du coke remontent à l'année 1768. A cette époque, fonctionnaient à Sulzbach, près Sarrebruck, deux fournaux à moufle, dans lesquels on recueillait le goudron ; mais ces premiers essais n'eurent point de succès. Il en fut de même d'une tentative semblable faite par Archibald Cochrane, comte de Dundonald, en 1781.

En 1854, Knab, à Commentry, construisit un four à coke avec extraction des produits secondaires, dans lequel les dispositions adoptées pour la fabrication du gaz d'éclairage lui avaient servi de modèle. Ce four avait 2 mètres de largeur, 1 mètre de hauteur et 7 mètres de longueur. Le rendement était insuffisant, probablement à cause de la largeur trop considérable du four.

Aujourd'hui, au contraire, on est arrivé à créer des appareils qui fonctionnent bien, et la plupart des charbonnages opèrent la récupération des sous-produits de la houille.

En thèse générale, le rendement des fours à récupération est plus élevé que celui des autres fours, ainsi que nous l'avons dit précédemment, car on n'y pratique pas, à la fin de la cuisson, les rentrées d'air qui occasionnent des pertes et diminuent le rendement de 4 à 5 0/0. L'opération est continue, et les admissions de l'air nécessaire à la combustion des gaz sont réglées une fois pour toutes suivant la qualité des charbons. On évite même avec grand soin l'introduction d'air froid.

En outre, la qualité du coke obtenu est meilleure et le rendement plus régulier.

En revanche, le prix de fabrication est plus élevé, ainsi que le

prix d'installation. La main-d'œuvre plus nombreuse revient plus cher, l'usure des appareils est parfois considérable, notamment pour les barillets qui sont placés au-dessus des fours ; les joints, les tuyauteries crèvent et laissent échapper rapidement les gaz.

Mais le bénéfice laissé par la vente des sous-produits vient compenser dans une certaine mesure les pertes et les dépenses de toute nature.

En Westphalie, pour une batterie de 60 fours Otto coûtant 864.500 francs, les bénéfices retirés de la vente des sous-produits ont été de 209.000 francs, c'est-à-dire 24 0/0 du capital d'installation, sans compter l'économie de 20 tonnes de houille par jour provenant de l'utilisation des gaz sous les chaudières.

Fours de boulanger. — Deux transformations des fours de boulanger ont été imaginées dans ces dernières années pour extraire les sous-produits.

L'une est due à M. Aitken. On active la combustion dans le four en y insufflant de l'air. Cet air est chauffé au contact des gaz de la combustion. On transforme ainsi toute la masse en coke et l'on évite le fort déchet que donnent tous les fours à boulanger où la partie supérieure de la charge sert bien souvent à allumer le reste et ne donne jamais de coke, le charbon y étant brûlé et non pas carbonisé. Les gaz de la combustion sont aspirés sous la sole et passent au traitement pour goudron.

L'autre brevet est celui de M. Jameson. C'est un four à ruche où les gaz de la combustion sont aspirés sous la sole pour être soumis ultérieurement à la distillation. A cet effet, la sole est constituée par un plancher métallique en fers à T réunis au moyen de revêtements en briques réfractaires.

Four Appolt. — On a cherché aussi à recueillir les sous-produits avec les fours Appolt ; mais les applications n'ont pas été très nombreuses jusqu'ici.

On a disposé dans les parois du four des cloisons horizontales où l'air vient se mélanger aux gaz. Il y a alors admission d'air. Des ouvertures ménagées à travers les cloisons permettent de régler la température. On arrive ainsi à brûler les gaz à leur retour des appareils de condensation.

Pour 52 parties de coke, on obtient 4 parties de sous-produits.

Le four *Brunck* est un four Appolt où, en dehors de la combustion du coke, s'opère la récupération des sous-produits. Ce four est assez employé en Allemagne.

La caractéristique du four est d'avoir deux rangées de carnaux verticaux de chauffage dans chaque piédroit des fours, ces carnaux

communiquant entre eux par un carnau collecteur horizontal placé à la partie supérieure sous la voûte des fours. Un fort piédroit en maçonnerie sépare les carnaux des deux fours voisins, ce qui a l'avantage d'isoler parfaitement ces fours et d'éviter les déperditions de chaleur quand un four est en chargement à côté d'un four en combustion. La construction du four est aussi plus solide, et on peut donner aux chambres de carbonisation une hauteur plus grande, avec une épaisseur moindre, ce qui permet de réduire d'autant la durée de la carbonisation.

Les fours ont $10^{m},25$ de longueur, 2 mètres à $2^{m},25$ de hauteur et 430 à 550 millimètres de largeur selon les qualités de houille à traiter. On passe en vingt-six ou trente-quatre heures 5 à $7^{t},500$ de charbon.

Le chauffage des fours s'opère par trois flammes sur chaque côté du four, dont l'une débouche dans un grand carnau sous la sole et les deux autres dans les carnaux horizontaux de la voûte. Les gaz de la sole montent par les carnaux verticaux de chaque côté du four et vont retrouver les gaz des carnaux horizontaux supérieurs, puis ils redescendent par les carnaux verticaux du centre et se rendent aux collecteurs placés sous les fours.

Dans les derniers brevets de l'inventeur, l'air est chauffé avant de se mélanger aux gaz. A cet effet, il passe à la base du four dans un empilage de briques placé entre les deux collecteurs de gaz, puis il circule en sens inverse des gaz, ce qui tend encore à l'échauffer.

Finalement cet air rencontre les gaz qui sortent de la sole.

Four Carvès. — Les dimensions du four ont varié depuis 1866, date de l'institution du brevet. On lui a donné successivement $5^{m},15$, puis 7 mètres de longueur, $0^{m},66$, puis $0^{m},50$ et $0^{m},49$ de largeur, enfin $1^{m},65$, $1^{m},50$ et 2 mètres de hauteur. Aujourd'hui le dernier modèle, qui date de 1891, a les dimensions suivantes :

Longueur................	$7^{m},00$
Largeur..................	$0^{m},50$
Hauteur..................	$2^{m},00$

On a tendance à réduire la largeur pour obtenir un coke plus dense, étant donnée la manière dont s'opère la combustion par zones successives parallèles aux parois mêmes du four.

Le four cuit en quarante-huit heures[1] et reçoit 5.000 kilogrammes de charbon. Le chargement s'opère après fermeture de la valve visible à la partie supérieure du four sur la figure 174 pour sup-

1. Les dernières installations cuisent en vingt-quatre heures, comme à Malton Colliery, près de Durham.

primer toute communication du four avec les appareils de distillation. Il doit être effectué le plus rapidement possible, afin d'empêcher le refroidissement, bien que les gaz continuent à brûler le long des parois du four. En général, l'opération dure un quart d'heure. Dès qu'elle est terminée, on ouvre de nouveau la valve et on lute soigneusement tous les orifices pour éviter les rentrées d'air froid. La carbonisation commence alors immédiatement.

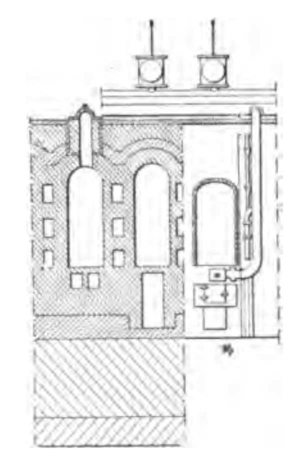


Fig. 173. — Coupe à travers un massif de four Carvès.

Les gaz qui se dégagent sont aspirés par un extracteur, et se dépouillent de leurs produits de condensation, ainsi qu'il sera expliqué plus loin (page 504). Puis ils reviennent se brûler autour des fours. La caractéristique du four Carvès est que la combustion se produit en premier lieu sous la sole des fours, au besoin même sur un foyer disposé à cet effet. Les gaz se rendent ensuite dans des carnaux latéraux horizontaux. Ils peuvent enfin venir chauffer des chaudières avant de s'échapper par la cheminée.

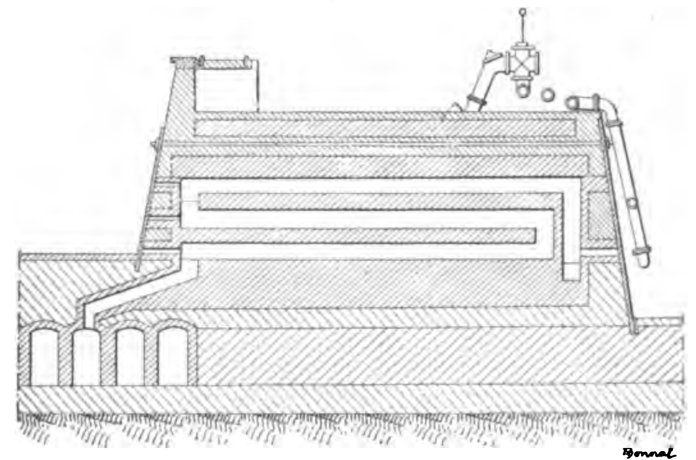


Fig. 174. — Four Carvès (coupe longitudinale).

Une autre particularité du four Carvès est que l'air qui doit brûler les gaz de la combustion à leur retour des appareils de condensation est préalablement chauffé dans cinq galeries inférieures, parallèles en longueur au massif des fours. Ces galeries ont $0^m,50$ de largeur sur $1^m,50$ de hauteur. L'air y atteint la température de 300°.

L'important, pour obtenir une bonne carbonisation dans le four Carvès, est de bien régler la température de cette carbonisation. On peut le faire en ouvrant plus ou moins les buses qui débitent le gaz. Il faut débuter avec une température de 450° et élever progressivement cette température jusqu'à 800°. Si l'on carbonise à trop haute température, le goudron se décompose dans le four. On obtient plus de coke, mais moins de sous-produits.

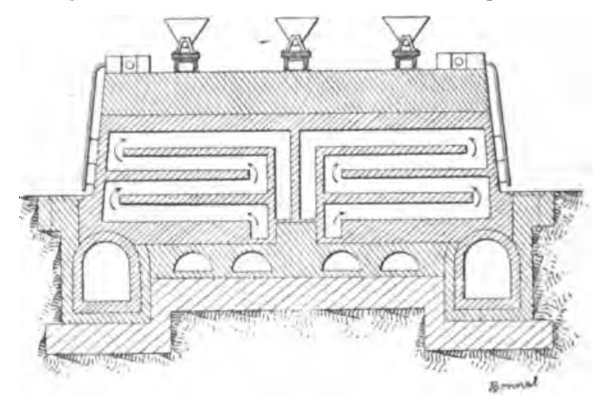


Fig. 175. — Circulation des gaz dans le four Seibel.

Le four Carvès donne un rendement de 75 0/0, déduction faite de l'humidité de la houille et de celle du coke. On y cokéfie avec avantage des houilles à 25 0/0 de matières volatiles.

Chaque four coûte 5.000 francs, dont 2.000 francs pour les appareils de condensation. Les frais d'entretien et de réparation sont peu élevés.

Ce four, qui est le premier en date comme four de récupération et qui depuis l'origine a reçu de nombreux perfectionnements, est en somme celui qui a servi surtout de modèle aux autres appareils.

Four Seibel. — Le four Seibel est une modification récente du four Carvès, apte à cuire aussi bien des houilles maigres à 14 ou 16 0/0 de matières volatiles que des houilles grasses à 29 0/0 et plus de matières volatiles. Toutefois, il est bon d'opérer des mélanges pour avoir un bon coke et pour ramener la teneur moyenne en matières volatiles à 21 ou 24 0/0.

Les fours ont comme dimensions :

Longueur......................	9 à 10 mètres
Largeur	600 à 625 millimètres
Hauteur sous clef.............	1m,93 à 2m,10

Les fours communiquent entre eux, deux par deux, à l'aide de carnaux verticaux formant piédroits, afin d'obtenir un chauffage plus régulier. Les carnaux verticaux débouchent tous dans un carnau horizontal qui règne sur toute la longueur des fours à leur partie inférieure et qui sert de chambre de combustion.

La marche des gaz est la suivante.

Les gaz sortent des fours par vingt-huit ouvertures ménagées dans la paroi de gauche et se répandent dans la chambre de combustion. Ils descendent par des piédroits et gagnent un carnau horizontal établi sous la sole. Par ce carnau ils cheminent vers l'avant du four, puis ils se mélangent aux gaz du four voisin dans le piédroit commun et reviennent ainsi à l'arrière du four, où ils trouvent un conduit commun à tous les fours, conduit communiquant avec la galerie collectrice.

Des registres permettent de régler la circulation des gaz sous les fours et de tenir compte pour cette circulation des diverses phases de la carbonisation dans chaque four. On arrive ainsi à obtenir une cuisson identique dans les fours pairs et dans les fours impairs, qui, comme nous l'avons déjà expliqué pour le four système Coppée, sont chargés successivement et non point simultanément.

En raison de la circulation des gaz sous la sole, il faut rafraîchir par une circulation d'air le massif de fondation des fours. Sur le massif en béton, on construit quatre voûtes qui servent de support à un dallage en briques réfractaires surmonté de lignes formées de trois briques à plat avec des ouvertures en chicane. Un tel quadrillage permet aisément à l'air de circuler. Au-dessus on établit la base du four, puis la sole et les piédroits.

Les fours sont fermés par des portes en fonte pesant 680 kilogrammes avec garnissage intérieur de briques réfractaires. En haut de la porte est une ouverture fermée par un clapet. Cette ouverture permet de passer une raclette pour égaliser la surface de la houille après le chargement. Par cette ouverture on peut également, au moyen d'un regard, surveiller la marche de la carbonisation.

Pour mettre en feu un four nouvellement construit, on commence par sécher les maçonneries pendant une vingtaine de jours. Le séchage consomme 9 tonnes de briquettes et 2 stères de bois. Puis on augmente progressivement la charge jusqu'à atteindre la proportion normale de 8.230 kilogrammes.

Le four cuit d'ordinaire en 48 heures. On obtient des rendements assez voisins des rendements théoriques au creuset.

68,00 0/0	pour un rendement	théorique de	70,50 0/0
76,27	—	—	76,65
75,34	—	—	76,92

On peut cuire aussi en vingt-quatre heures. La durée de la cuisson dépend des catégories de charbon. La durée des fours n'est pas la même dans l'un ou dans l'autre cas. Elle est normalement de dix années pour des cuissons de quarante huit heures, et de quinze ans pour une marche de vingt-quatre heures.

Four Semet-Solvay. — Le principe du four Semet-Solvay est de transmettre à la charge, avec le moins de déperdition possible, la chaleur dégagée par la combustion des gaz. Pour cela les parois les plus minces possibles sont nécessaires ; mais, comme les parois minces sont exposées à durer un temps moins long et comme leur prépa-

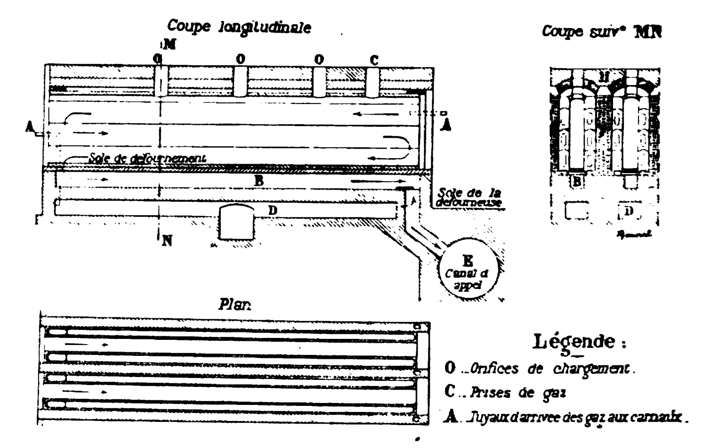


Fig. 176. — Four Semet-Solvay.

ration pourrait devenir non seulement coûteuse, mais encore difficile, on emploie des cornues en une seule pièce amovibles. Ces cornues sont superposées trois par trois de chaque côté du four ; leur épaisseur est de $0^{m},70$.

On place entre les cornues des deux fours un pilier de maçonnerie. Ce pilier peut emmagasiner une certaine quantité de chaleur et permet d'éviter les inconvénients du *point mort* inhérents à tous les fours à coke. On appelle point mort la période qui suit immédiatement l'enfournement d'une charge souvent humide. La charge étant froide et humide refroidit les parois latérales à un tel point qu'il s'écoule un certain temps pendant lequel la combustion des gaz se trouve complètement paralysée. Dans le four Semet-Solvay, le massif de maçonnerie précité cède une partie de sa chaleur aux cor-

nues, qui peuvent ainsi conserver à peu près la même température.

Les plus anciens modèles du four avaient 9 mètres de longueur pour $1^m,70$ de hauteur, la largeur variant suivant les qualités du charbon, et ne dépassant pas 360 millimètres pour les catégories de 15,5 à 17 0/0 de matières volatiles, 500 millimètres pour les qualités de 25 0/0. Les charges étaient de $6^{m3},750$.

Aujourd'hui on construit plutôt des fours de 10 mètres de longueur et de 2 mètres de hauteur à quatre cornues superposées. Les largeurs sont les mêmes suivant les qualités de charbon. La capacité est de 10 mètres cubes.

Dans la construction du four Semet-Solvay, on n'a pas eu seulement pour but d'utiliser le mieux possible, avec les cornues pour le chauffage du four, la chaleur dégagée par les gaz de la combustion. On a cherché aussi à éviter toute déperdition de chaleur.

A cet effet, on établit les voûtes avec une épaisseur de $1^m,20$ et on garnit les fours de doubles portes en fonte qu'on lute soigneusement après chargement pour éviter les rentrées d'air froid. Les trous de chargement et de nettoyage des conduites de gaz sont munis d'obturateurs à joints dressés et à ressorts.

Les gaz de la combustion, après avoir passé dans les appareils de récupération, reviennent, dépouillés de leurs sous-produits, se brûler dans les carnaux, puis ils gagnent le canal collecteur, les chaudières à vapeur et enfin la cheminée, où ils arrivent avec une température de 200° seulement. Aucune flamme perdue ne sort donc plus de la cheminée.

L'admission d'air ne se fait que par la base des fours. Cet air, en circulant sous la sole, s'échauffe jusqu'à 200° ou 300° et peut ainsi enflammer les gaz.

Le défournement a lieu mécaniquement, comme pour les fours précédemment décrits. Toutefois une disposition inclinée de la sole de défournement permet au coke de s'étaler davantage et d'être refroidi sans qu'on emploie autant d'eau, ce qui est un avantage, car le coke tiendra ainsi beaucoup moins d'humidité.

Le rendement des fours Semet-Solvay atteint 81 0/0 avec des charbons à 15,5 ou 17 0/0 de matières volatiles.

Quant au prix de revient, il peut se déterminer d'après les données suivantes : un four coûte 6.000 francs en Belgique. L'extracteur et l'appareil de récupération valent 4.000 francs, et l'on cuit 4 à 5 tonnes de houille par vingt-quatre heures.

En outre des goudrons récupérés, on obtient une certaine force motrice. Avec des charbons de 16 à 18 0/0 de matières volatiles, contenant 2,5 0/0 d'eau et 1,5 0/0 de goudron, c'est-à-dire n'ayant effectivement que 12 à 14 0/0 de matières volatiles, les trois quarts des gaz suffisent pour chauffer les fours. Vingt-cinq fours traitant 115 tonnes de charbon par vingt-quatre heures donnent ainsi 40.000 mètres cubes de gaz dont 10.000 sont disponibles. En employant directement cet excédent de gaz dans une machine à gaz, on aurait une force de :

$$\frac{10.000}{24 \times 0,08} = 520 \text{ chevaux.}$$

En les utilisant sous des chaudières à rendement ordinaire de 66 0/0, on obtiendrait :

$$\frac{10.000 \times 0,66 \times 4.500}{650} = 45.700 \text{ kilogrammes de vapeur,}$$

qui, utilisée dans des moteurs ordinaires dépensant 6 kilogrammes par cheval-heure, correspondraient à une force de :

$$\frac{45.700}{24 \times 6} = 316 \text{ chevaux.}$$

On retrouve ainsi par cette production de force une partie des frais d'installation. Quant à la dépense de main-d'œuvre, si elle est plus élevée que dans des fours sans récupération, on obtient en revanche une plus grande production et une plus grande régularité de marche que dans ces fours.

Four Collin. — Le four Collin, de construction encore plus récente que le four Semet-Solvay, a été imaginé à Dortmund, en Allemagne.

Le four a les dimensions suivantes :

Longueur	$10^{m},00$
Largeur	$0^{m},53$
Hauteur	$2^{m},00$

La durée de la cuisson est de trente-six heures. On passe dans ce temps 6,700 kilogrammes de charbon contenant de 19 à 25 0/0 de matières volatiles. On peut même augmenter encore la charge et cuire 8.000 kilogrammes de houille.

Il ne faudrait pas espérer traiter des qualités inférieures à 19 0/0 de matières volatiles. Le four se refroidit et change d'allure. De même

il faut être judicieux dans les mélanges. Une proportion de moitié flénu à 40 0/0 de matières volatiles et de moitié maigre à 10 0/0 qui donne bien pourtant 25 0/0 de matières volatiles, ne fournira pas un bon coke. Il faut s'en tenir, comme pour le four Coppée, aux charbons voisins de 20 0/0 de matières volatiles.

De même, bien que le four puisse marcher à volonté avec ou sans récupération au moyen de registres *ad hoc*, il est bon de ne pas déranger trop longtemps son allure et de cuire toujours franchement avec récupération.

La circulation des gaz a lieu dans des carnaux horizontaux, comme dans les fours Carvès et Seibel (Voir *fig.* 177).

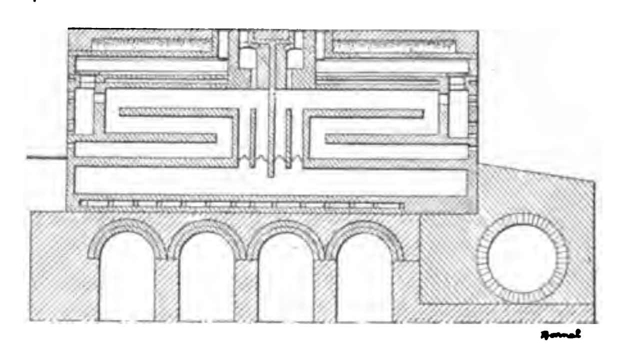


Fig. 177. — Four à coke système Collin.

Four Otto-Hoffmann. — Comme le four Collin, le four Otto est d'origine allemande. Il lui est d'ailleurs très antérieur.

Ce four, qui est une modification du four Coppée, dérive aussi du four Carvès, en ce sens que l'air est échauffé avant son mélange avec les gaz. Au lieu d'un foyer comme dans l'appareil Carvès, ce sont ici des régénérateurs Siemens.

Les dimensions sont les suivantes :

Longueur	$10^m,00$
Largeur	$0^m,50$
Hauteur	$1^m,80$

On passe 7 tonnes de houille, et l'on obtient 5 tonnes de coke, soit un rendement de 70 0/0.

Le fonctionnement du four Otto n'est pas semblable à celui du four Coppée : les gaz, en sortant de la chambre de combustion, ne brûlent pas dans des carnaux sur une grande longueur le long des

parois latérales ou sous la sole. Il n'y a qu'un canal horizontal qui relie ensemble les carnaux verticaux. La sole est divisée par une



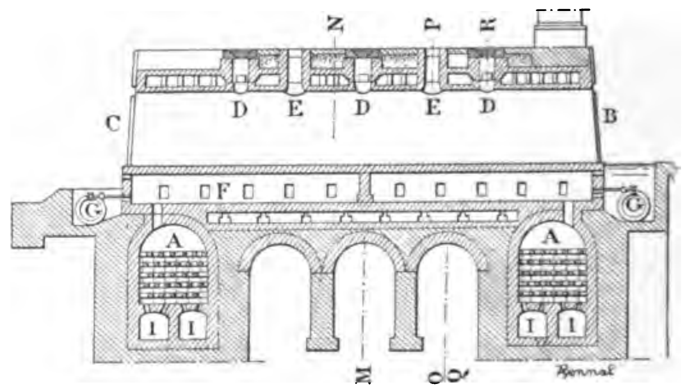


Fig. 178. — Coupe longitudinale du four à coke Otto.

cloison en deux parties, qui communiquent chacune avec un régénérateur distinct.

On peut voir sur la figure 178 quelle est la disposition des régé-

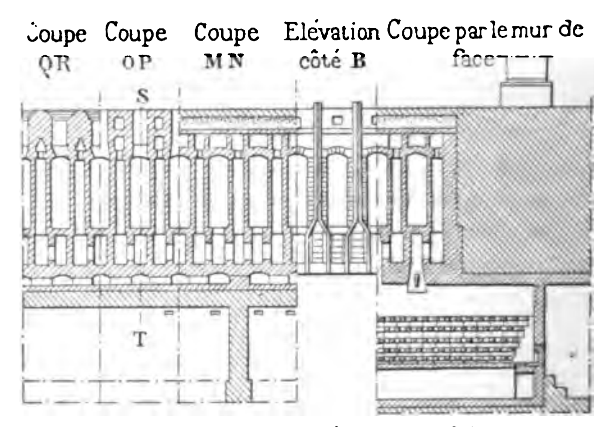


Fig. 179. — Four à coke système Otto.

nérateurs A ; ils servent à chauffer l'air destiné à brûler les gaz des appareils à récupération. Ces gaz viennent brûler sous la sole à une température de 1.200° à 1.400° et montent, par les carnaux verticaux, à la température de 1.100° à 1.200°, pour se rendre à la

cheminée, où ils ont encore 700°. Une valve de renversement permet, à un moment donné, de diriger les gaz en sens inverse suivant l'allure de la carbonisation et de chauffer ainsi les régénérateurs et ultérieurement l'air qui y sera admis.

Dans le four Otto, les gaz, à leur sortie, sont exempts de poussière et peuvent être brûlés sans inconvénient dans des moteurs ou bien servir à l'éclairage. Sur un volume de 1.000 mètres cubes, il reste une quantité de 350 mètres cubes disponible pour la production de la force ou de la lumière, ce qui amortira d'autant le prix d'installation des fours.

On fait parfois passer les gaz dans des brûleurs spéciaux, système Lürmann, qui permettent de les brûler complètement et d'obtenir la meilleure utilisation possible de leur rendement calorifique. Ces brûleurs ont pour principe :

1° L'échauffement à haute température de l'air dans des carnaux ménagés le long des parois de la chambre de combustion et sur la voûte de celle-ci;

2° Le mélange intime des gaz et de cet air ainsi échauffé par leur arrivée à un même niveau au travers de fentes étroites et par leur combustion complète dans une grande chambre de combustion placée en avant des chaudières; on obtient ainsi une flamme courte très chaude.

Le four Otto, malgré sa grande largeur, donne avec les charbons maigres un excellent coke grâce à la très haute température de son régime de marche.

Le four Otto-Hilgenstok, très employé en Angleterre, ressemble assez au four Otto que nous venons de décrire et dont il dérive directement. Nous n'en donnerons pas par conséquent une description spéciale.

Les derniers modèles des fours Otto sont munis de brûleurs à gaz spéciaux. Afin d'éviter la combustion de grandes masses de gaz en un seul point, chaque chauffe a ses arrivées spéciales de gaz et d'air, dont l'admission est réglable. Le chemin parcouru par les gaz est réduit autant que possible.

Les fours les plus récents ont 10 mètres de longueur, $1^{m},90$ à 2 mètres de hauteur et 430 à 600 millimètres de largeur. La carbonisation s'effectue entre vingt-huit et trente-deux heures.

Four Festner-Hoffmann. — Le four Festner-Hoffmann est aussi une modification du four Otto; il présente sur lui l'avantage de suppri-

mer le renversement du courant des gaz et de produire un chauffage non interrompu de l'air servant à la combustion.

Les fours ont comme dimensions :

Longueur	9m,00
Largeur	0m,58
Hauteur	1m,80

Ils reçoivent 6.500 kilogrammes de houille qu'ils carbonisent en quarante-huit heures. Chaque four coûte 5.000 francs.

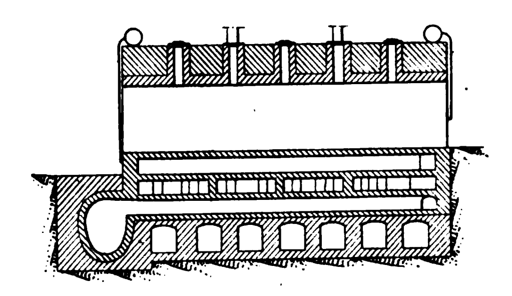


Fig. 180. — Four à coke système Festner-Hoffmann.

On voit, d'après les figures 180 et 181, quel est le mode de chauffage. L'air est chauffé latéralement par les gaz qui passent dans les

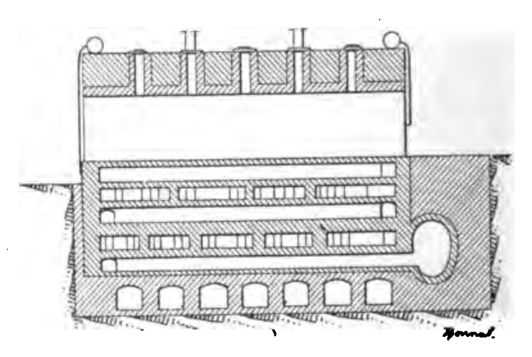


Fig. 181. — Four système Festner-Hoffmann.

carnaux inférieurs moyens et supérieurs de la figure 181 tandis que l'air arrive par les second et quatrième carnaux à partir du bas. Le courant d'air chaud arrive dans le carnau supérieur et se mélange

alors avec les gaz au moment où ils sortent du four. L'air arrive à une température qui n'est pas inférieure à 900°.

Fours a compression. — Nous avons dit précédemment que les charbons maigres ou les charbons extra gras donnaient un mauvais coke, quand on les carbonisait seuls, et qu'ils devaient être mélangés entre eux pour donner un bon produit métallurgique. On peut toutefois les soumettre seuls à la carbonisation en les comprimant soit avant leur entrée dans le four, soit dans le four lui-même.

L'influence de cette compression n'a pas été bien expliquée jusqu'ici. Pour les houilles maigres, il se peut qu'on arrive ainsi, en rapprochant les particules, à mieux les lier entre elles à cause des carbures qui se dégagent en faible quantité du charbon. Pour les houilles à gaz, l'explication peut être la même.

Divers moyens ont été imaginés pour produire cette compression. Ils ont pour principe une pression exercée soit à l'intérieur, soit à l'extérieur du four.

On a essayé de produire la compression en chargeant la masse de charbon au moyen de pierres pesantes qu'on maintenait dans le four pendant la cuisson. Mieux vaut employer au lieu de pierres des paquets de rails, que l'on peut soulever par les portes de chargement en fin d'opération.

On a songé aussi à exercer une pression continue par un piston. Le four Lürmann, que nous décrirons plus loin, dérive de cette idée. On peut employer, comme moyen d'action mécanique, la défourneuse; mais on s'expose à détériorer les parois même du four sous l'action d'un gonflement trop fort.

Il vaut mieux comprimer la houille avant cuisson.

Dans la Haute Silésie, on comprime la charge dans une caisse en tôle sans fond placée sur un chariot devant la porte du four. Quatre ou cinq ouvriers dament par couches successives, en trois quarts d'heure, une charge de 3 tonnes et demie. Ils enlèvent l'enveloppe en tôle, et le gâteau comprimé reste sur un fond mobile que l'on peut pousser dans le four à l'aide d'une crémaillère. En abaissant la porte du four, le gâteau reste à l'intérieur de ce four.

Dans le bassin de la Saar, en Allemagne, la compression se fait dans la trémie même de chargement du four. On emploie des gamins à comprimer les menus de houille; ils le font avec leurs pieds, comme pour des briquettes de tourbe. On peut augmenter encore la pression en se servant de forts rouleaux en fer.

On peut réaliser mécaniquement cette compression ; en Silésie, on emploie actuellement diverses presses, presses mobiles sur rails permettant de comprimer le charbon sur un récipient devant le four, le récipient servant ensuite d'enfourneuse. L'appareil à damer circule d'un bout à l'autre du récipient et pilonne le charbon par couches successives. On pilonne ainsi quatre à cinq couches avant de charger le four.

On emploie aussi des pilons mus électriquement. Ces pilons se déplaceront le long de la caisse sur un chariot mû également par l'électricité.

On a reconnu les grands avantages de la compression du charbon avant la cokéification ; on en fait de plus en plus usage. Non seulement on peut arriver à cuire des charbons de toute catégorie, non seulement on peut augmenter de 30 0/0 la proportion de maigre ajoutée par raison d'économie à du charbon gras, mais encore on élève de beaucoup le rendement en coke, et l'on passe dans le même temps une charge 15 à 20 0/0 supérieure à celle d'une houille ordinaire.

Les pilonneuses deviendront ainsi sous peu les appareils accessoires nécessaires d'une usine à coke, comme l'ont toujours été les défourneuses.

Four Lürmann. — Le four à compression, système Lürmann, mérite d'être signalé, bien qu'il ne soit pas jusqu'ici entré complètement dans la pratique.

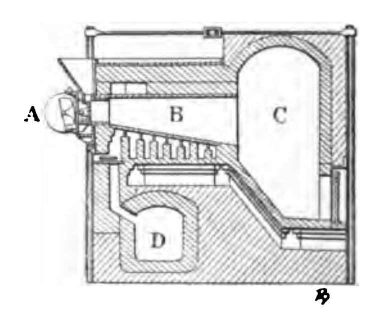


Fig. 182. — Four à coke système Lürmann.

Le four est à chargement continu, ce qui permet d'éviter les rentrées d'air froid, rentrées qui donnent toujours lieu à des coups de feu et qui compromettent la résistance des carnaux. Il se compose

de deux chambres. L'une horizontale a 5 mètres de longueur; elle présente 1 mètre de hauteur sur $0^m,50$ de largeur à l'une de ses extrémités, $1^m,50$ de hauteur sur $0^m,70$ de largeur à l'autre extrémité. La seconde chambre a $3^m,50$ de longueur, $1^m,50$ de hauteur et $0^m,70$ de largeur.

L'enfournement se fait à l'aide d'un piston en fonte A, la compression ayant lieu, par conséquent, dans les premiers moments de la distillation. On introduit chaque demi-heure une charge de 25 kilogrammes. Le déchargement s'opère aussi par fraction et par quantités de 500 kilogrammes à la fois.

On obtient un coke qui présente une densité variant de 1,12 à 1,50 et même 1,91 avec des houilles soit maigres, soit trop flambantes pour donner du coke dans d'autres fours, mais il reste un fort déchet de poussières non agglomérées. En brûlant 1.700 à 2.400 kilogrammes de charbon par four en vingt-quatre heures, on aurait un rendement de 75,6; les essais n'ont peut-être pas été assez nombreux pour qu'on puisse accepter un tel chiffre en toute sécurité.

Four Quaglio. — Le four Quaglio se charge non plus verticalement par la partie supérieure, mais horizontalement par la porte de défournement. Ce dispositif permet, sitôt la charge placée dans le four, d'introduire une caisse en tôle ayant la même largeur que le four et munie de trois pilons qui, en se déplaçant le long de la caisse, arrivent à comprimer la houille sur toute sa surface.

La caisse en tôle est amenée en face de chaque four par un pont roulant muni d'une crémaillère qui permet de relever tout l'appareil de compression.

Four Grand. — On réalise plus simplement le même effort de compression à l'aide du système imaginé par M. Grand, directeur des mines d'Albi, en ce sens que l'effort se transmet verticalement et non plus horizontalement.

Le procédé de compression Grand s'applique à des charbons contenant 30 0/0 de matières volatiles.

Les fours ont 9 mètres de longueur, $1^m,30$ de hauteur et présentent une épaisseur de charge de $1^m,30$. La carbonisation dure vingt-quatre heures pour une quantité de 5 tonnes. La compression se fait pendant la carbonisation et au début de cette carbonisation.

Dans ce but, on amène sur un pont roulant, en face des trous de chargement du four, une série de pilons pesant chacun 275 kilogrammes, qui ont à $0^m,15$ près la même largeur que le four et qui,

tombant de leur propre poids sur une hauteur de $0^m,40$, compriment fortement le charbon. On peut, comme l'indique la figure 183, dévier latéralement les pilons en les déplaçant à l'aide d'un arbre coudé. Chaque compression de la charge demande cinq minutes. En général, une seule compression suffit, et l'on évite ainsi la formation d'un

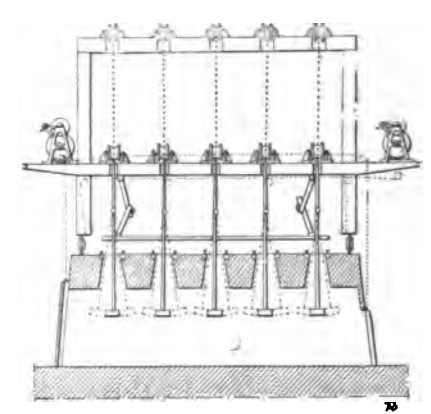


Fig. 183. — Four à coke système Grand.

coke léger qui se produit toujours vers le centre de tous les fours, surtout avec les houilles fortement gazeuses.

Procédé Hennebutte. — Nous venons de parler des procédés de compression de la houille, qui permettent d'obtenir du coke avec des charbons considérés comme non cokéfiants. M. Hennebutte aurait obtenu le même résultat par l'emploi d'un ciment spécial dont il se garde d'ailleurs d'indiquer la composition.

M. Mahler, ingénieur civil des mines, avait déjà dit qu'il fallait chercher la matière indispensable à l'agglomération du coke parmi les hydrates de carbone susceptibles de se transformer en acide ulmique au contact de l'oxygène. M. Hennebutte s'est appliqué à trouver cet hydrate de carbone.

On sait que la compacité du coke est fonction de la différence qui existe entre le coefficient de dilatation de la houille lors de sa cuisson et le coefficient de contraction du coke, le coke étant d'autant plus compact que le retrait du charbon enfourné est plus grand. C'était cette idée qui avait présidé à la compression des charges de houille avant cokéification.

M. Hennebutte donne du retrait à la cuisson à des houilles de

12 à 14 0/0 de matières volatiles et obtient par conséquent du coke métallurgique en mélangeant dans des proportions variables avec la composition du charbon un hydrate de carbone qu'il fournit soit sous forme de poudre noire impalpable, soit à l'état liquide. Cet hydrate en brûlant a l'avantage de développer une certaine température qui accélère le phénomène chimique de la cokéification.

Four à coke électrique. — Un brevet a été pris récemment en Amérique pour cokéfier la houille au moyen de l'électricité. L'idée mérite seulement d'être signalée en attendant de connaître les résultats pratiques de la méthode.

On dispose dans les parois d'un four à coke des plaques de carbone ou autre matière résistante. Ces plaques sont superposées perpendiculairement les unes aux autres. Le passage du courant sur ces plaques réalise la cokéification de la houille.

CHAPITRE XXIV

RÉCUPÉRATION DES SOUS-PRODUITS

Produits bitumineux de la houille. — Principe de la récupération. — Marche de la récupération. — Extracteur Beale. — Séparateurs et réfrigérants. — Appareil Pelouze et Audouin. — Scrubbers et barboteurs. — Épuration des produits. — Production de divers fours. — Choix d'un four.

Les installations de récupération des sous-produits des fours à coke sont à peu près les mêmes, quelle que soit la diversité de ces fours à coke. Non seulement elles sont les mêmes, mais encore elles ont pour but de recueillir les mêmes genres de produits, bien que les produits contenus dans la houille soient assez divers et fort nombreux.

Produits bitumineux de la houille. — La liste des produits qui distillent de la houille est la suivante, d'après la *Technologie chimique* de Wagner.

I. — Matières volatiles.

1. *Matières éclairantes.*

a) Gaz :

Acétylène	C^2H^2
Éthylène	C^2H^4
Propylène	C^3H^8
Butylène	C^4H^8
Allylène	C^3H^4
Crotonylène	C^4H^6
Térène	C^5H^8

b) Vapeurs :

Benzol	C^6H^6
Thiophène	C^4H^4S
Styrolène	C^8H^8
Naphtaline	$C^{10}H^8$
Méthylnaphtaline	$C^{11}H^{10}$
Fluorène	$C^{13}H^{10}$
Propyle	C^3H^7
Butyle	C^4H^9

2. *Gaz.*

Hydrogène	H^2
Méthane	CH^4
Oxyde de carbone	CO

3. *Impuretés.*

Acide carbonique	CO^2
Ammoniaque	AzH^3
Cyanogène	CAz
Cyanure de méthyle	C^2H^3N
Sulfure de cyanogène	CAzS
Acide sulfhydrique	SH^2
Sulfure de carbone	CS^2
Oxysulfure de carbone	COS
Azote	Az

II. — Eaux ammoniacales.

1. *Matières principales.*

Carbonate d'ammonium	$(AzH^4)^2CO^3$
Sulfure ammonique	$(AzH^4)^2S$

2. *Matières secondaires.*

Sulfocyanure ammonique	$(AzH^4)CAzS$
Chlorure ammonique	$(AzH^4)Cl$
Cyanure ammonique	$(AzH^4)CAz$

III. — Goudrons.

1. *Combinaisons neutres.*

a) Hydrocarbures :

		Point de fusion.	Point d'ébullition.
A) Série des corps gras :		—	—
Crotonylène	C^4H^6	liquide	25°
Amylène	C^5H^{10}	»	30
Hexylène	C^6H^{12}	»	71
Hydrocarbures	C^6H^{10}	»	85
— de O. Jacobsen.	»	»	150
Paraffine	»	solide	env. 400
B) Série aromatique :			
Benzol	C^6H^6	+ 3°	81
Toluol	C^7H^8	liquide	111
Orthoxylol	C^8H^{10}	»	141
Métaxylol	C^8H^{10}	»	141
Paraxylol	C^8H^{10}	15°	137
Styrol	C^8H^8	liquide	146
Mésitylène	C^9H^{12}	»	163
Pseudocumol	C^9H^{12}	»	169
Hémellithol	C^9H^{12}	»	175

		Point de fusion.	Point d'ébullition.
		—	—
Térébenthine	$C^{10}H^{16}$	»	171
Cummol	$C^{10}H^{14}$	»	175
Tétraméthylbenzol	$C^{10}H^{14}$	»	»
Hydrure de naphtaline	$C^{16}H^{11}$	»	205
Naphtaline	$C^{10}H^{8}$	80	217
Méthylnaphtaline	$C^{11}H^{10}$	»	243
—	$C^{11}H^{10}$	32,5	241,5
Diphényle	$C^{12}H^{10}$	71	254
Hydrocarbure de Berthelot.	»	85	260
Acénaphtène	$C^{12}H^{10}$	99	280
Fluorène	$C^{13}H^{10}$	113	294
Phénanthrène	$C^{14}H^{10}$	100	340
Fluoranthène	$C^{15}H^{10}$	109	au-dessus de 360
Pseudophénanthrène	$C^{16}H^{2}$	115	— 360
Anthracène	$C^{14}H^{10}$	213	— 360
Méthylanthracène	$C^{15}H^{12}$	200	— 360
Pyrène	$C^{16}H^{10}$	119	— 360
Chrysène	$C^{18}H^{12}$	250	— 360
Chrysogène	»	290	— 360
Parachrysène	»	320	— 360

b) Autres combinaisons neutres du goudron :

Sulfure de carbone	CS^{2}	liquide	47
Alcool éthylique	$C^{2}H^{6}O$	»	78
Acétonitrile	$C^{2}H^{3}Az$	»	82
Eau	$H^{2}O$	0	100
Carbazol	$C^{12}H^{9}Az$	328	355
Phénylnaphtylcarbazol	$C^{16}H^{11}Az$	330	au-dessus de 440
Thiophène	$C^{4}H^{4}S$	»	84
Thioxène	$C^{6}H^{8}S$	liquide	137

2. *Acides.*

Acide sulfhydrique	$H^{2}S$	liquide	137
— cyanhydrique (prussique)	CAzH	liquide	137
Acide carbonique	CO^{2}	»	»
— acétique	$C^{2}H^{4}O$	17	119
— phénique	$C^{6}H^{6}O$	42	182
Orthocrésol	$C^{7}H^{8}O$	31	188
Métacrésol	$C^{7}H^{8}O$	liquide	201
Paracrésol	$C^{7}H^{8}O$	36	199
Xylénol	$C^{8}H^{10}O$	»	»
Isodurol	$C^{10}H^{12}O^{2}$	215	»
Pyrocrésol	$C^{28}H^{26}O^{2}$	»	195
—	$C^{28}H^{26}O^{2}$	»	124
—	$C^{28}H^{26}O^{2}$	»	104
Acide benzoïque	$C^{7}H^{6}O^{2}$	121	249

3. *Bases.*		Point de fusion.	Point d'ébullition.
Ammoniaque	H^3Az	gaz	»
Pyridine	C^6H^5Az	liquide	115
Pyrrol	C^4H^3Az	»	126
Picoline	C^6H^7Az	»	134
Lutidine	C^7H^9Az	»	154
Collidine	$C^8H^{11}Az$	»	179
Aniline	C^6H^7Az	»	182
Parvoline	$C^9H^{13}Az$	»	188
Corindine	$C^{10}H^{15}Az$	»	211
Rubidine	$C^{11}H^{17}Az$	»	230
Quinoline	C^9H^7Az	»	239
Quinaldine	$C^{10}H^9Az$	»	240
Viridine	$C^{12}H^{19}Az$	»	251
Lépidine	$C^{10}H^9Az$	»	257
Cryptidine	$C^{11}H^{11}Az$	»	274
Acridine	$C^{12}H^9Az$	107	au-dessus de 360

4. *Matières asphaltées.*

Résines.

Principe de la récupération. — La récupération des sous-produits est une opération assez analogue à la fabrication du gaz d'éclairage par distillation de la houille, et l'on remarquera qu'un grand nombre d'appareils sont communs aux deux genres d'installation.

Le principe d'une bonne récupération est une distillation lente et continue. Le goudron distillé à basse température donnera, en effet, plus de carbures légers ; à haute température, il fournit exclusivement du benzol, du toluol, de la naphtaline, des produits solides. Toutefois, comme marche rationnelle des fours, il est bon de ne pas dépasser pour la cuisson une durée de quarante-huit heures.

L'aspiration des gaz sera réglée exactement sur la marche des fours. Une aspiration trop rapide amènerait des fuites à travers les carnaux et gênerait l'allure de la combustion.

A ce point de vue, pour régler mieux la marche d'un four à récupération, il est bon d'asperger d'eau les charbons avant le chargement. La vapeur d'eau, en se formant, absorbe un certain nombre de calories, si bien que la température des gaz en sera d'autant diminuée et ne pourra s'élever que progressivement.

Marche de la récupération. — Les gaz montent dans un condenseur commun à un massif de plusieurs fours. Les tuyaux de communication sont à genouillère et ont une soupape pour éviter les rentrées

d'air. En outre, ils portent un clapet d'explosion à leur partie supérieure. Quelquefois on place des fermetures hydrauliques, à l'arrivée dans les condenseurs, pour que les gaz ne reviennent pas en sens inverse lors du déchargement des fours. Ce dispositif n'est pas à recommander, car il gêne la combustion et peut nuire à la densité du coke et les soupapes mues à la main ou automatiquement suffisent en général.

Une partie du goudron se dépose dans le condenseur dont la sole est inclinée; les poussières entraînées par les gaz descendent donc à l'état plus ou moins fluide et viennent se réunir à l'extrémité du massif.

Un tuyau-réservoir commun fait suite au condenseur.

De là les gaz sont pris par un extracteur, en général du système Beale. Celui-ci est l'appareil le plus simple et le moins coûteux comme entretien. Il donne à 70 ou 80 tours par minute un effet utile de 70 à 75 0/0.

Extracteur Beale. — Cet extracteur qui dérive du principe des pompes rotatives se compose d'une enveloppe cylindrique en fonte

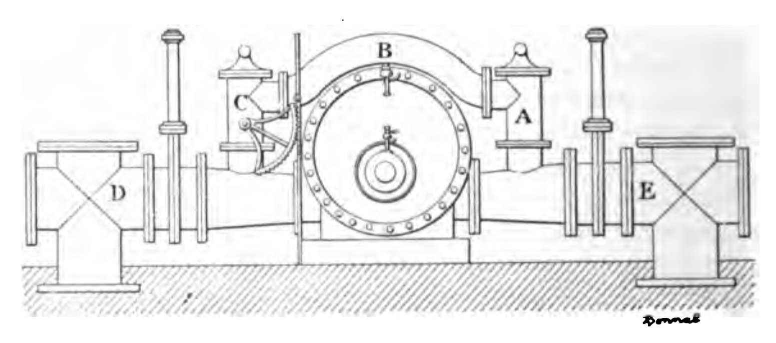


Fig. 184. — Extracteur Beale.

dans laquelle tourne un tambour excentré. Ce tambour porte sur toute sa longueur deux rainures diamétralement opposées, dans lesquelles glissent deux palettes longitudinales jouant le rôle de piston pendant la rotation. L'axe de rotation du tambour tourne dans des presse-étoupes pour empêcher les fuites de gaz.

De part et d'autre de l'extracteur sont le tuyau d'aspiration E et le tuyau de refoulement D, munis chacun de valves permettant d'intercepter le passage des gaz. En outre, les deux tuyaux communiquent entre eux par un tuyau de retour ABC, à l'intérieur duquel

se trouve un clapet de retenue manœuvré par une crémaillère et par un secteur denté visible sur la figure 184. Le mouvement de ce clapet est régularisé par un régulateur de pression sous la cloche duquel un tuyau maintient une pression égale à celle des gaz dans les barillets.

Si l'extracteur tourne trop vite et s'il tend à aspirer plus de gaz que le four n'en produit, un certain vide a lieu dans le barillet. L'abaissement de pression se faisant sentir immédiatement sous la cloche par le tuyau de communication avec le barillet, la cloche descend et fait agir en même temps la crémaillère qui ouvre le clapet de retenue ; une partie du gaz refoulé revient alors vers l'aspiration, et l'équilibre de pression se rétablit. Si, au contraire, l'extracteur tournant trop lentement n'absorbe pas tous les gaz ou s'il vient à s'arrêter, un tuyau de secours, muni d'une valve automatique, met en communication libre les tuyaux d'aspiration et de refoulement.

Séparateurs et réfrigérants. — Les gaz traversent ensuite des séparateurs, où ils se divisent à travers un grand nombre de tuyaux plongeant dans l'eau. Dans ces appareils circule de l'eau légèrement ammoniacale, qui peut être enrichie de la sorte, tandis que le goudron se sépare. Le goudron et l'eau ammoniacale se rendent dans une grande fosse où ils se classent grâce à leur pesanteur spécifique respective.

Les gaz ont été aspirés jusqu'ici ; ils vont maintenant être refoulés. Leur température s'étant accrue de quelques degrés par suite d'une compression dans l'aspirateur, on les fait passer alors dans des réfrigérants qui abaissent leur température et hâtent en même temps le dépôt des matières étrangères.

On emploie des réfrigérants à air, des réfrigérants à eau, des réfrigérants à air et à eau combinés.

Le réfrigérant à eau ou laveur à cloches fonctionne comme il suit : le gaz entre par la partie inférieure et se divise sous un certain nombre de cloches dont le bord dentelé plonge dans l'eau. Le gaz est refoulé par les interstices qui existent entre les dents et, de cette manière, vient en contact avec l'eau en de nombreux points. On peut combiner quatre ou six étages de ces cloches. L'important est de maintenir la température et surtout la pression constante, afin que la marche du four soit bien régulière.

Le nombre des réfrigérants doit être assez grand. C'est ainsi qu'aux

mines d'Aniche on emploie seize condenseurs à air, à eau et à cloche pour une carbonisation de 8 tonnes en vingt-quatre heures. Il est bon d'avoir plutôt ces appareils en excès pour ne pas gêner la marche des fours et pour ne pas être forcé de les arrêter.

Les huiles lourdes se déposent dans l'appareil Pelouze et Audouin.

Appareil Pelouze et Audouin. — Le principe de cet appareil et des autres appareils similaires est de provoquer le dépôt des globules

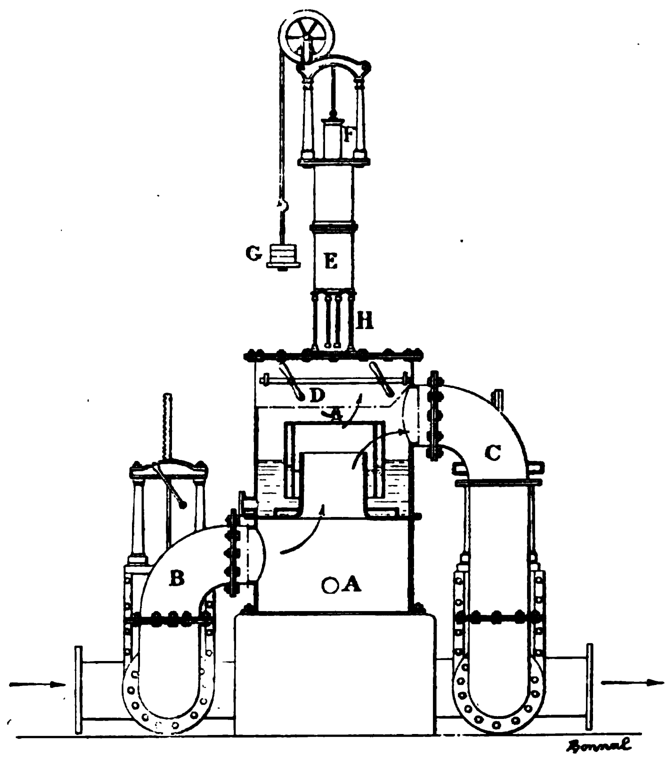


Fig. 185. — Appareil Pelouze et Audouin.

de goudron en contrariant et en coupant le courant gazeux par une série de diaphragmes. A cet effet, on a disposé quatre cylindres concentriques en tôle perforée, les trous d'une tôle correspondant aux pleins de la suivante. L'écartement entre chaque tôle n'est que de 1 millimètre et demi à 2 millimètres, de sorte que le gaz subit un frottement qui force les globules à adhérer aux parois métalliques.

Le gaz arrive par la partie inférieure et se répand sous une cloche condensatrice qui baigne en partie dans le goudron; puis, après avoir traversé les plaques perforées, il s'échappe par un tuyau à la partie supérieure.

La cloche condensatrice D peut s'élever ou s'abaisser suivant la quantité de gaz produite, de manière que les gaz arrivent d'autant mieux à se dépouiller de leur goudron. A cet effet, la cloche est suspendue par une tige à une autre cloche F plongeant dans une tige creuse E qui surmonte l'appareil. Cette dernière cloche est reliée à un contrepoids G qu'on règle d'avance ou qu'on règle à nouveau suivant la dépression qu'indique un manomètre.

Le nettoyage de l'appareil qui doit être fait assez fréquemment s'opère aisément à l'aide d'un courant de vapeur d'eau ou par un lavage au méthylène (esprit de bois). Le goudron en excès tombe à la partie inférieure de l'appareil, d'où il sort par une tuyauterie.

Pour bien fonctionner, l'appareil ne doit pas être exposé à une température inférieure à 10° ou 12°. Pendant l'hiver, on devra prendre des précautions pour éviter les gelées qui arrêteraient le fonctionnement du condensateur.

Scrubbers et barboteurs. — On procède ensuite au traitement pour ammoniaque. On emploie des scrubbers quelque peu différents de ceux qui existent dans les usines à gaz où l'on emploie surtout des colonnes à coke. Ce sont des claies en bois brut, où un contact immédiat a lieu entre les gaz et les eaux. A mesure que s'opère la dissolution, on refroidit avec des tubes réfrigérants pour achever la concentration, qui se fait mieux à froid. On renouvelle plusieurs fois le courant liquide.

On termine enfin par le traitement pour benzol en mettant les gaz en contact avec le courant froid et divisé des huiles lourdes qui ont distillé précédemment.

On emploie de longues cuves de barbotage munies d'une série de diaphragmes horizontaux en tôle mince, qui sont destinés à prolonger et à multiplier les contacts. Les cuves sont groupées en batterie, de telle façon que les gaz sortant de l'une soient obligés de traverser successivement toutes les autres. L'épuisement des gaz est, d'ailleurs, méthodique, c'est-à-dire que la cuve qui reçoit le gaz le plus riche est aussi celle qui contient l'huile la plus voisine du point de saturation. Quand la saturation est complète, on transvase l'huile de la cuve de barbotage dans une cuve de distillation par une manœuvre

de robinets, et on remplit la cuve de barbotage avec de l'huile épuisée provenant d'opérations précédentes.

La cuve de distillation est semblable à celle de barbotage sauf qu'au lieu de gaz elle reçoit de la vapeur d'eau qui, par échauffement et par entraînement, fait distiller les carbures légers mélangés à l'huile lourde. Le mélange de vapeur d'eau et de vapeur de benzol est condensé dans un réfrigérant, puis séparé par un vase florentin.

On élimine les alcaloïdes du benzol brut par l'acide sulfurique et la soude, puis on lave à l'eau, enfin on distille dans un appareil à colonne. On obtient :

1° Du benzol commercial dit 90 0/0;

2° Du benzol commercial dit 50 0/0;

3° Du dissolvant qu'on vend aux dégraisseurs et aux fabricants de caoutchouc;

4° Un résidu qu'on mélange de nouveau à l'huile lourde dans des cuves de barbotage.

Les gaz, dépouillés de la plus grande partie de leurs produits, peuvent alors retourner aux fours.

Épuration des produits. — Les produits obtenus sont traités et épurés dans des usines spéciales, usines à goudron, à ammoniaque et à benzol.

Le *goudron* est repris par des pompes dans les bassins où il s'est déposé et refoulé dans des réservoirs élevés, qui le distribuent aux alambics de distillation. On obtient une huile de goudron avec laquelle on opérera le lavage des gaz, de la naphtaline et du brai pouvant servir dans les usines d'agglomérés ou susceptible d'être distillé à nouveau. Parfois on turbine préalablement le goudron pour enlever par la force centrifuge l'eau qui y est incorporée.

Les *eaux ammoniacales* sont remontées dans une tour verticale où elles descendent progressivement jusqu'au sol en se purifiant. A la base de la tour sont deux injecteurs genre Giffard qui opèrent le malaxage et donnent un certain échauffement. Quand la température voulue est atteinte, on verse un lait de chaux. Le gaz ammoniac se dégage et se rend dans un bain d'acide sulfurique où le sulfate est précipité (L'acide sulfurique peut provenir du traitement par l'eau de certains goudrons acides). Le sulfate formé est égoutté sur une aire garnie de plomb ou séché dans une turbine. On emploie aussi pour le traitement des eaux ammoniacales l'appareil Feldman.

L'appareil Feldman est composé d'une colonne principale à compartiments avec tubulures centrales. Cette colonne repose sur une base qui constitue le récipient où s'opère la décomposition des sels fixes au contact de la chaux. Dans une autre colonne s'achève la distillation. Enfin le tout est complété par un appareil réchauffeur à tubes verticaux.

On emploie enfin l'appareil suivant pour l'évacuation des eaux ammoniacales. C'est un appareil à plateaux que traversent des tuyaux. Dans ces tuyaux circule de la vapeur. Cette vapeur dégage l'ammoniaque de l'eau par volatilisation à mesure que l'eau descend sur les plateaux. A la partie inférieure de l'appareil, l'eau, plus ou moins ammoniacale encore, rencontre un lait de chaux qu'on injecte de l'extérieur et qu'on malaxe avec un jet de vapeur. Par le mélange de l'eau ammoniacale et du lait de chaux, le gaz ammoniac se dégage et rejoint à la partie supérieure de l'appareil l'ammoniac qui s'est déjà dégagé. Une conduite emporte le gaz ammoniac mélangé d'un peu de vapeur d'eau dans les caisses de saturation.

Après lavage à la soude, puis à l'acide sulfurique, le *benzol* est distillé dans de grands alambics en fer où se déposent d'abord l'ammoniaque et les huiles légères, puis les huiles plus lourdes et enfin les résidus qui servent à un nouveau lavage des gaz. Une nouvelle distillation des huiles légères donne le benzol brut qui est dépouillé de ses résines par un traitement à l'alcali. On parfait le traitement en purifiant à la vapeur, et l'on obtient du benzol à 90 0/0, du benzol à 50 0/0 et du naphte, ou bien du benzol pur, du toluol et du xylol, ou encore du benzol à 90 0/0, des dissolvants de gaz à 50 0/0, de la benzine et de la naphtaline.

Exemple d'installation de fours à récupération de sous-produits. — Nous donnerons, comme exemple d'une installation de récupération des sous-produits, la disposition adoptée par M. Brunck en Allemagne.

Les tuyaux collecteurs servant à recueillir les gaz de distillation sont disposés sur les fours et construits ou comme collecteurs à fermeture hydraulique, dits ouverts, ou comme collecteurs fermés. Dans l'un et l'autre cas, une circulation continuelle de goudron est maintenue dans les collecteurs par les pompes, et on peut enlever le brai qui se dépose, grâce à un certain nombre d'ouvertures de nettoyage.

Les gaz sortant du collecteur passent par un grand tuyau d'aspiration et entrent dans une série de réfrigérants à air placés parallèlement, c'est-à-dire dans un système de tuyaux verticaux.

Les gaz sont refroidis par la circulation en sens inverse de l'air froid. Puis les gaz sont conduits à travers deux réfrigérants spacieux à eau situés également en plein air.

Les gaz sont ainsi refroidis à une température de 20 à 25°.

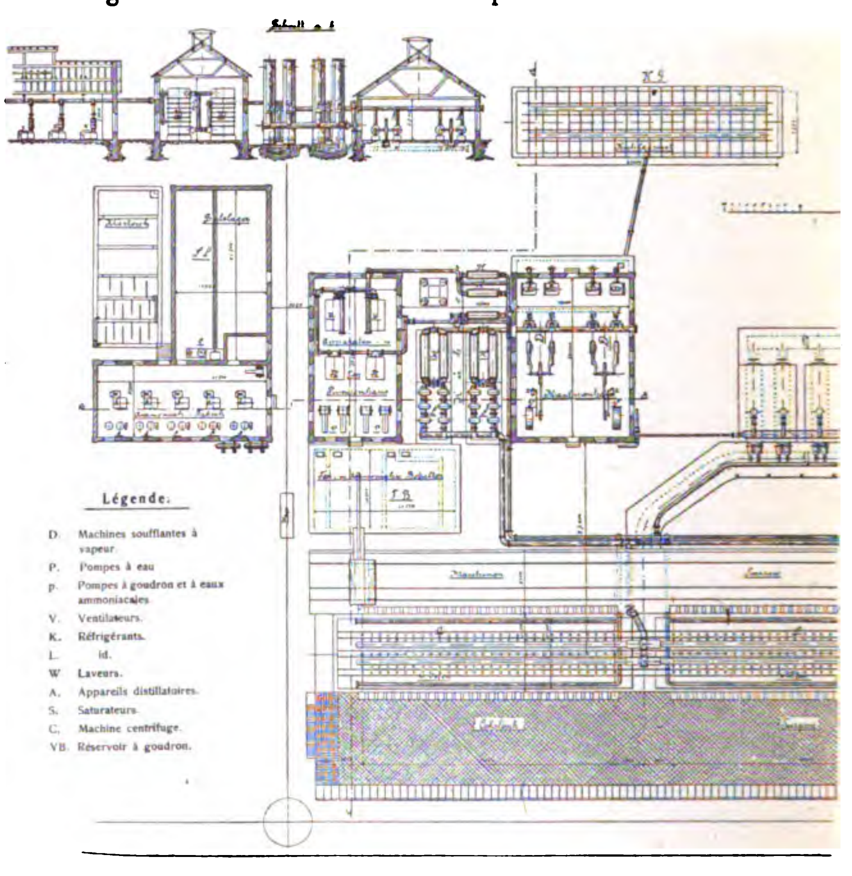


Fig. 185 *a*.

Ils pénètrent alors dans des machines soufflantes à piston que M. Brunck préfère aux exhausteurs rotatifs précédemment décrits. Les machines sont à fonctionnement compound, ce qui permet de régler d'une manière constante la pression sans devoir recourir à des gazomètres. Chaque machine peut aspirer 150.000 à 300.000 mètres cubes par jour, c'est-à-dire la production de 60 à 120 fours.

Dans le bâtiment des machines se trouvent des ventilateurs pour aspirer l'air nécessaire à la combustion des fours et des pompes destinées à fournir l'eau de réfrigération des divers appareils.

Les gaz, au sortir des machines, passent dans des réfrigérants à eau. Puis ils se rendent au traitement pour ammoniaque. Ce traitement est fait dans une série de laveurs et de scrubbers précédemment décrits.

Les eaux ammoniacales saturées quittant les laveurs ou scrubbers sont passées dans des appareils distillatoires Feldman. L'ammoniaque est récupérée en la transformant en sulfate ou hydrochlorate d'ammonium ou en ammoniaque liquide.

Le sel ammoniac est mis dans des cases d'égouttage pour faire sortir la lessive mère, puis séché dans des appareils centrifuges et emmagasiné jusqu'à son expédition.

Enfin les gaz sont traités pour benzol. Les gaz, dépouillés de leur goudron et de leur ammoniaque dans les laveurs et les scrubbers, se rendent dans des laveurs où ils sont mis en contact avec de l'huile bouillant à un point élevé. L'huile saturée quittant les laveurs est passée dans un appareil de réchauffage où elle absorbe par contre-courant la chaleur des huiles chaudes distillées. Puis elle est conduite dans des appareils de distillation. Dans ces appareils, les hydrocarbures venant des gaz sont séparés de l'huile par distillation à la vapeur. Les huiles distillées sont refroidies pour être à nouveau renvoyées aux laveurs. Quant aux hydrocarbures, ils sont rectifiés dans des colonnes distillatoires, et les résidus de distillation vont enrichir l'huile de lavage.

La figure 185 *bis* donne le schéma des installations et de l'encombrement nécessaires pour la récupération des sous-produits d'après le système Brunck.

Production de divers fours. — La marche de la récupération des sous-produits est à peu près analogue dans les divers fours à coke et sensiblement conforme à ce qui vient d'être décrit. On ne peut pas en dire autant pour la quantité des produits obtenus qui varie, bien entendu, avec les qualités des houilles, et aussi avec les appareils employés.

Le four Coppée donnera, avec un charbon à 19 0/0 de matières volatiles, les quantités suivantes :

Goudron	2,00
Sulfate d'ammonium	0,96

Il reste dans les gaz 0gr,02 à 0gr,04 d'ammoniaque par mètre cube retournant aux fours.

Le four dit Mines de Lens, modification du four Coppée, produit:

Goudron	2,30
Sulfate d'ammonium	0,60
Benzol brut	0,50

Le four Carvès fournit, en moyenne, 1,84 0/0 de goudron et 10 0/0 d'eaux ammoniacales. Le goudron obtenu a une densité de 1,10 à 1,15; il contient surtout du benzol, et non point exclusivement de la paraffine.

Avec un charbon à 25 0/0 de matières volatiles, on obtiendra :

Goudron	2,5 à 3,5
Eau ammoniacale donnant 7 à 8 kilos de sulfate d'ammonium par hectolitre	10 à 12
Hydrocarbures légers contenant 70 à 75 0/0 de benzol, toluol, etc.	3 à 4 kilos par tonne de houille

Le four Semet-Solvay produit, en général :

Eau ammoniacale à l'état de sulfate d'ammonium	7 à 17 kilos par tonne de coke
Goudron et hydrocarbures	18 à 70 kilos

Ces quantités varient avec les qualités de houilles traitées, et le tableau suivant indique deux cas extrêmes :

	HOUILLE A	
	10 0/0 eau 31,95 0/0 matières volatiles	3 0/0 eau 16,01 0/0 matières volatiles
Coke	58,05	80,99
Goudron	5,10	1,24
Ammoniaque	0,28	0,16
Benzol	1,02	0,25
Gaz sec	22,63	11,69
Gaz nécessaire au chauffage des fours	16,97	8,77
Gaz disponible	5,66	2,92
Eau	2,92	2,67

Le four Collin donne par vingt-quatre heures avec un charbon de 19 à 25 0/0 de matières volatiles et pour un massif de 80 fours cuisant 6.500 kilogrammes en trente-six heures :

Goudron........................	6 tonnes	ou environ 1 0/0 par tonne de houille
Eaux ammoniacales à 16 0/0....	4.500 kilos	0,7
Sulfate d'ammonium...........	3.000 kilos	0,5
Benzol brut à 50 0/0	1.500 kilos	0,2

Le four à récupération des mines de Blanzy (type Appolt) fournit :

Goudron..........................	3,5	par tonne de houille
Benzol à 90 0/0......................	0,7	—
Sulfate d'ammonium	0,9	—

Enfin le four Otto donne en moyenne 17 à 18 0/0 de goudron rectifié et 7 0/0 de sulfate d'ammonium par tonne de charbon carbonisé.

Dans les trois districts de la Ruhr, de la Saar et de la Silésie, où sont généralement employés les fours Otto Hoffmann, on a eu pendant une année des résultats conformes au tableau suivant pour une batterie de 60 fours :

DISTRICTS	PRODUCTION ANNUELLE DES FOURS	RENDEMENT PAR TONNE DE HOUILLE EN		
		COKE	GOUDRON	SULFATE D'AMMONIUM
Ruhr..............	51.300 tonnes	757kg,4	27kg,0	11kg,5
Silésie.............	48.000 —	677 ,7	42 ,3	11 ,9
Saar	40.500 —	697 ,6	41 ,3	8 ,9

On obtient en même temps un excédent de 358 ou de 448 mètres cubes de gaz par tonne et par jour, qu'on peut utiliser, ainsi que nous l'avons dit, au chauffage, ce qui correspond à une consommation journalière de 20 à 25 tonnes de houille.

Choix d'un four. — Les chiffres qui précèdent sont donc des plus variables et ne permettent pas par comparaison de désigner un four plutôt qu'un autre. Le choix sera surtout basé sur la nature du combustible. Les sous-produits, venant s'ajouter comme bénéfice au prix de revient, ne sont jamais des facteurs aussi importants en tant que nature ou que quantité obtenues.

Les fours belges sont ceux qui se prêtent le mieux à la carbonisation des diverses qualités de houille et à la production d'un coke dur et dense. Le four Appolt donnera de bons résultats avec des houilles demi-grasses. Les fours Otto qui fournissent beaucoup de sous-produits sont employés là où la vente de ces sous-produits est rémunératrice. On emploie quelquefois le four de boulanger, parce que le coke qu'il produit est léger, brillant et possède un bel aspect. On recherche ce coke notamment pour la fonte au creuset ou au cubilot.

CHAPITRE XXV

INSTALLATION ET PRIX DE REVIENT D'UNE USINE DE CARBONISATION

Appareils de broyage. — Appareils de lavage. — Appareils de chargement. — Appareils de défournement. — Appareils d'extinction. — Installations diverses. — Prix de revient.

Outre les appareils de carbonisation, c'est-à-dire les fours à coke, et les appareils de récupération des sous-produits de la houille, une usine pour la fabrication du coke comprend divers autres appareils accessoires que nous allons décrire brièvement. Les principales opérations auxquelles sont affectés les appareils sont le broyage et le lavage du charbon, le chargement dans le four, le défournement et l'extinction du coke.

Appareils de broyage. — La houille, avant d'être carbonisée, doit être ramenée à l'état de menus, dont le grain varie avec la catégorie des charbons employés.

On employait autrefois des broyeurs à cylindre, mais ces appareils devaient être assez nombreux. Il fallait avoir des dégrossisseurs, puis des finisseurs. Le broyeur Carr réalise plus rapidement le broyage. Il a, en outre, l'avantage de réaliser un parfait mélange des charbons, si l'on emploie plusieurs catégories. Il exige une plus grande force motrice, mais il broie plus fin. Nous avons suffisamment décrit ce broyeur au chapitre OUTILLAGE DES USINES A AGGLOMÉRER.

Appareils de lavage. — Si le charbon n'a pas été lavé au sortir de la mine, il faut le soumettre au lavage dans un bâtiment adossé aux fours à coke. C'est le cas le plus général, car, ainsi que nous l'avons dit, les mines évitent le plus souvent de laver leurs fines.

Il y a d'autant plus intérêt à laver le charbon que les matières argileuses ou sableuses (grès et schistes) qui s'y trouvent auront tendance à se vitrifier lors de la carbonisation, ce qui entravera la marche de cette carbonisation.

On emploie des laveurs système Coppée, Schüchtermann et Kremer ou Humboldt.

C'est pendant le lavage qu'on fait, en général, le mélange des fines de diverses teneurs en matières volatiles.

Pour doser le mélange de ces fines, on peut employer des appareils spéciaux qui sont de deux sortes : cylindres à alvéoles ou tables tournantes.

Les cylindres à alvéoles sont en fonte et ont 40 à 50 centimètres de diamètre. Ils sont divisés en six ou huit compartiments par des cloisons radiales. On forme ainsi des espaces qu'on remplit plus ou moins et qu'on bouche au besoin avec des tampons de bois pour faire varier les mélanges. L'appareil tourne à raison de 8 à 12 tours à la minute.

Ainsi que nous l'avons déjà dit à propos des AGGLOMÉRÉS, le travail est plus régulier sur les tables tournantes qui permettent de mieux surveiller le mélange. Le charbon se mélange suivant un cône. Un couteau fixe coupe le cône et amène le charbon sur les bords du disque de la table pour le déchargement.

Les frais de criblage et de lavage peuvent atteindre 1 franc par tonne. Ils varient depuis 0,30 jusqu'à 2 francs suivant la qualité et la pureté des houilles. En outre, il faut compter sur un déchet de 10 à 20 0/0, ce qui majore d'autant le prix de revient.

Appareils de chargement. — La plupart des fours à coke précédemment décrits se chargent par la partie supérieure. Les wagonnets circuleront donc sur une voie disposée en haut de ces fours.

Les wagonnets de forme pyramidale contiennent 2.000 kilogrammes de charbon et leur fond est fermé par un registre ou un clapet. L'introduction de la charge dans le four est ainsi des plus rapide. On égalise à mesure cette charge avec de longs ringards.

En disposant trois orifices dans un four de 8 à 10 mètres, on peut charger plus rapidement et éviter aussi en partie la main d'œuvre nécessaire à l'égalisation de la charge, si les trous de chargement se trouvent assez voisins.

Il arrive souvent que le charbon humide, puisqu'il sort en général des lavoirs, ne glisse pas sur les côtés du wagonnet. On ménage alors un orifice sur la paroi du wagonnet par où l'on pourra passer un ringard dans le but d'activer le glissement.

Appareils de défournement. — Dans le cas du four Appolt, l'opération du défournement, qui est des plus simple, s'opère par la pesanteur à l'aide d'une porte placée à la partie inférieure des fours. On a même

simplifié et activé l'opération du défournement en employant un registre spécial plus facile à manœuvrer qu'une porte à bascule et dit registre Kleiss[1].

Dans tous les autres fours, le défournement a lieu horizontalement à l'aide d'un appareil mécanique spécial appelé *défourneuse*.

Cet appareil se compose d'un bouclier de fonte fixé à l'extrémité d'une crémaillère horizontale, parallèle au grand axe du four à décharger. Tout le mécanisme est fixé sur un chariot qui se meut sur une voie parallèle à la batterie, de manière à pouvoir être amené aisément devant chaque four.

Pour opérer le défournement, on ouvre les portes de chaque côté du four, on fait pénétrer par l'une d'elles le bouclier en agissant sur la crémaillère, et on pousse le prisme de coke qui sort par l'autre extrémité du four.

Le mouvement s'obtient parfois en faisant agir plusieurs hommes sur des manivelles. Il vaut mieux avoir recours à un petit moteur à vapeur de 10 à 15 chevaux porté avec sa chaudière sur le chariot de la défourneuse. Le même moteur est utilisé pour produire le mouvement du chariot, mouvement deux fois plus rapide au retour qu'à l'aller. On peut enfin avec ce moteur manœuvrer les portes des fours, quand ces portes se déplacent dans des coulisses verticales.

Pour donner plus de résistance à la voie qui porte le chariot et plus de stabilité en même temps à ce chariot contre les poussées, on forme la voie avec trois rails pour faire reposer le chariot sur trois paires de roues. En plaçant la chaudière alimentaire sur la défourneuse, on augmente encore l'adhérence de cette défourneuse. Le poids de cette défourneuse peut ainsi atteindre 16.000 à 22.000 kilogrammes.

De l'autre côté du four on réservera pour l'extinction du coke une sole assez grande avec pente légère et avec largeur d'une douzaine de mètres. Cette sole est formée avec des briques posées de champ ou avec des plaques de fonte. L'aire doit être bien lisse pour qu'au moment du défournement le saumon de coke n'ait pas tendance à se diviser trop tôt.

Le dallage en briques ne dure que cinq à six ans seulement. Il peut aussi se fendiller, et l'eau d'extinction séjournera dans les fentes, ce qui aura tendance à augmenter la teneur en eau du coke.

Les plaques de fonte durent beaucoup plus longtemps, et leur prix

1. Voir *Bulletin de l'Industrie minérale*, année 1894, livraison 2.

d'établissement, assez coûteux il est vrai, peut être amorti sur de longues années. Le glissement sur une aire en fonte est beaucoup plus facile, ce qui permet au prisme de coke de sortir tout droit du four sans se renverser. C'est un avantage, car, si les morceaux se renversent trop tôt, ils obstruent l'entrée du four, et le défournement ne peut plus continuer mécaniquement.

Appareils d'extinction. — On a abandonné aujourd'hui l'ancien système de refroidissement du coke par un séjour prolongé entre deux murs. On obtenait ainsi un coke à peu près exempt d'eau; mais l'opération était très longue. Partout, actuellement, l'extinction se fait par l'eau.

Sur la plate-forme où est déchargé le coke et vis-à-vis des fours on ménage plusieurs prises d'eau placées à 6 ou 8 mètres les unes des autres sur le bord du quai. On y adapte des raccords avec des tuyaux d'arrosage en cuir ou en caoutchouc, afin d'envoyer sur le coke incandescent l'eau destinée à le refroidir. Les tuyaux qui mesurent 4 à 5 centimètres de diamètre intérieur, se terminent par des lances ayant 25 à 30 millimètres de diamètre. La pression doit être suffisante pour qu'on puisse lancer l'eau jusqu'à la porte des fours, c'est-à-dire à 8 mètres de distance au moins. Deux lances arrosent toujours à la fois et de chaque côté du prisme de coke.

Les ouvriers promènent le jet d'eau sur les divers points de la surface du coke sans le laisser séjourner longtemps et en cherchant à produire l'extinction le plus rapidement possible pour éviter que le coke n'absorbe trop d'eau par ses pores. On a remarqué, en effet, qu'une extinction trop prolongée pouvait être nuisible et que, notamment pendant la nuit, on a tendance à toujours introduire trop d'eau.

Pendant qu'une partie des ouvriers arrose le saumon de coke, les autres le retournent sous toutes ses faces. L'opération d'extinction doit durer moins de temps que celle du défournement.

Dans l'extinction du coke il faut employer 1 mètre cube d'eau par tonne de coke.

A Méons on a expérimenté un système spécial d'extinction du coke. Ce système consiste à recevoir le gâteau de coke après défournement dans un panier à claire-voie suspendu à une grue et à plonger le tout dans un réservoir plein d'eau. L'extinction est régulière, et les vapeurs en se dégageant expulsent les cendres et la poussière, ce qui rend le coke plus propre. Mais les paniers sont vite détruits.

On a aussi éteint le coke sous une couche de sable ou de poussier de charbon. Mais ces procédés ne sont pas entrés dans la pratique et l'arrosage à la lance est presque partout employé.

Après extinction et refroidissement complet, le coke est chargé directement dans les wagons de chemins de fer, les plates-formes de défournement des fours à coke étant disposées de manière à se trouver plus hautes que la partie supérieure des wagons.

Installations diverses. — Aux batteries de fours à coke sont toujours annexés des groupes de chaudières chauffées par les flammes perdues des fours. Le nombre de ces chaudières est déjà considérable pour une batterie de plusieurs fours, et l'on obtiendra à bon marché une force qui, devenant électrique, pourra être transportée, s'il est nécessaire, à une certaine distance.

On installera parfois aussi un atelier de criblage pour le petit coke produit par les fours, ce petit coke devant être vendu à part pour certaines industries, les sucreries par exemple. Le four Appolt est celui qui donne le plus de petit coke. Il en fournit plus de 2 0/0, c'est-à-dire plus que la moyenne des autres fours. On utilise, d'ailleurs, dans ce four une partie du petit coke à masquer les fentes de sortie des gaz, pour empêcher qu'elles ne soient bouchées par le charbon.

Dans l'atelier de criblage, on cassera le petit coke ou le coke de mauvaise qualité pour le vendre. Les casse-coke les plus connus et les plus employés sont ceux des systèmes Arpé, Eichelbrenner, Verdier, Chevalet, Durand et Chapitel. Ce sont des cylindres cannelés ou constitués par des étoiles d'acier qui tournent en sens inverse comme des cylindres broyeurs. Le petit coke pourra être classé ensuite dans un trommel.

Prix de revient. — Le prix de revient varie avec les fours employés entre des limites ne dépassant pas 1 fr. 60 comme minimum, et 2 francs comme maximum par tonne fabriquée.

Pour l'exploitation d'une batterie de fours Seibel produisant 300 tonnes de coke par mois, on dépense, frais généraux et d'amortissement compris, 501 fr. 90, soit 1 fr. 673 par tonne de coke produite.

Si la tonne de houille après lavage revient à 8 fr. 55 et qu'on ait un rendement industriel de 70 0/0, le prix de revient du coke sera :

$$1{,}673 + \frac{100}{70} \times 8{,}55 = 13 \text{ fr. } 88.$$

Le coût des installations est le suivant pour une batterie de seize fours système Seibel :

Lavoirs	50.840fr,94
Fours à coke, y compris les quais de déchargement, la défourneuse, la bascule, les wagonnets, etc	50.816 ,22
Voies, réservoirs, conduites d'eau et de vapeur	27.387 ,00
TOTAL	129.044fr,16

On peut utilement comparer ce que donne la marche avec récupération ou sans récupération. Le calcul a été fait en Angleterre pour des fours Coppée avec ou sans récupération, comparativement avec des fours à ruche. On brûlait par semaine 840 tonnes de charbon à 25 0/0 de matières volatiles, ce charbon étant fourni aux fours au prix de 8 fr. 75.

	FOURS A RUCHE	FOURS COPPÉE sans récupération	FOURS COPPÉE avec récupération
Transformation en coke	14,12	12,25	11,75
Main-d'œuvre et réparations	1,25	0,12	0,12
TOTAL	15,37	12,37	11,87
A déduire :			
Profit sur les sous-produits	......	......	3,25 à 3,75
80 à 100 mètres cubes de gaz par tonne de coke correspondent à une économie de 160 à 200 kilos de charbon à 8fr,75 la la tonne.	......	......	0,12 à 1,25
TOTAL A DÉDUIRE	......	......	3,37 à 5,00
Coût du coke par tonne	15,37	12,37	6,87 à 8,50

Les frais d'établissement d'un four Semet-Solvay sont de 5.250 fr. Au contraire, un four Otto-Hoffmann, à cause des régénérateurs pour le réchauffage de l'air, coûte 6.250 francs. Il y a donc une économie de 16 0/0 à employer un four Semet-Solvay.

A ces premières dépenses d'installation du four on ajoutera 2.250 francs pour l'installation des appareils d'extraction des sous-produits, tandis que, pour le four Otto-Hoffmann, ces frais sont de 2.500 francs pour extraire le goudron et l'ammoniaque, plus 6.250 francs, s'il s'agit de fabriquer le benzol.

Les dépenses se répartissent, d'ailleurs, comme il suit pour soixante fours Otto-Hoffmann installés en Westphalie.

Soixante fours, dans lesquels l'opération dure quarante-huit heures, correspondent à trente fours pour un jour, soit, par mois de trente jours de travail, 900 charges de 7.100 kilogrammes de houille humide à 12 0/0 d'eau, correspondant à 6.250 kilogrammes de houille sèche. On a donc par mois :

$$900 \times 6.250 = 5.625.000 \text{ kilogrammes.}$$

On sait par expérience que 100 kilogrammes de houille sèche rendent en moyenne :

1kg,15 de sulfate d'ammonium, soit par mois 64.687 kilogrammes
2kg,75 de goudron, donc par mois............ 154.687 —

Les prix du sulfate d'ammonium et du goudron étant respectivement de 26 fr. 25 et de 4 fr. 375 les 100 kilogrammes, on aura comme recette :

64.687kg de sulfate d'ammonium à	0fr,26 =	17.000 francs
154.687kg de goudron à..............	0fr,04 =	6.000 —
Recette totale par mois....................		23.000 francs
Dépense totale, consistant en salaires et frais d'exploitation..........................		7.000 —
Bénéfice par mois..........................		16.000 francs
— par an..........................		192.000 —

ou pour un four, 3.200 francs de bénéfice sur les produits secondaires seuls, le bénéfice sur la fabrication du coke étant à compter en plus.

Dans la Haute Silésie, le résultat est plus favorable encore, parce que le rendement des fabriques est de 1,25 0/0 de sulfate d'ammonium et atteint quelquefois jusqu'à 4,5 0/0 de goudron. Dans le bassin de la Saar, le résultat est un peu moins favorable, notamment pour l'ammoniaque.

FIN

TABLE DES MATIÈRES

PREMIÈRE PARTIE

HOUILLE

CHAPITRE I

Définition et classification de la houille

CHAPITRE II

Essais et analyse de la houille

CHAPITRE III

Sortage de la houille

CHAPITRE IV

Lavage de la houille

CHAPITRE V

Définition industrielle et achat de la houille

CHAPITRE VI

Emploi de la houille dans les foyers

CHAPITRE VII

Foyers spéciaux

DEUXIÈME PARTIE

PÉTROLE

CHAPITRE VIII

Propriétés et analyse du pétrole

CHAPITRE IX

Emplois du pétrole

CHAPITRE X

Brûleurs à pétrole

CHAPITRE XI

Brûleurs à pétrole (*suite*)

TROISIÈME PARTIE

LIGNITE, TOURBE, BOIS, CHARBON DE BOIS

CHAPITRE XII

Lignite

CHAPITRE XIII

Tourbe

CHAPITRE XIV

Bois

CHAPITRE XV

Charbon de bois

QUATRIÈME PARTIE

AGGLOMÉRÉS

CHAPITRE XVI

Généralités sur les agglomérés

CHAPITRE XVII

Outillage des usines à agglomérés

CHAPITRE XVIII

Appareils de compression

CHAPITRE XIX

Appareils de compression (*suite*)

CINQUIÈME PARTIE

COKE

CHAPITRE XX

Définition et emploi du coke

CHAPITRE XXI

Théorie de la carbonisation

CHAPITRE XXII

Fours à coke

CHAPITRE XXIII

Fours à coke (*suite*)

CHAPITRE XXIV

Récupération des sous-produits

CHAPITRE XXV

Installation et prix de revient d'une usine de carbonisation

INDEX ALPHABÉTIQUE

B

D

H

N

U

V

W

Tours, imp. Deslis Frères, rue Gambetta, 6.

L'eau dans l'industrie. Composition, influences, désordres, remèdes, eaux résiduaires, épuration, analyse (*Médaille d'argent de la Société d'Encouragement pour l'industrie nationale*), par H. DE LA COUX, ingénieur-chimiste, expert près le Conseil de préfecture de la Seine, professeur de chimie appliquée à l'industrie à l'Association polytechnique. In-8° 16 × 25 de 500 pages avec 134 figures.. 15 fr.

Droit commercial et législation industrielle, par L. MARTIN, professeur libre de droit, membre de la Chambre des députés. In-16 14×23 de 671 pages.. 10 fr.

Législation et contrôle des appareils à vapeur, par T. CUVILLIER, contrôleur principal des mines. In-16 12×18 de 388 p. Reliure souple. 8 fr.

Accidents du travail. *Commentaire pratique et revue de la jurisprudence, avec tableaux comparatifs de la législation étrangère*, par A. MOURRAL, conseiller à la Cour d'appel de Limoges, avec la collaboration de A. BERTHIOT, inspecteur du travail dans l'industrie, licencié ès sciences. In-8° 14 × 23 de XL-320 pages.. 5 fr.

Hygiène et sécurité du travail industriel, par G. PARAF, ingénieur A. M. In-8° 16 × 24 de 632 p., avec 402 fig. Broché, 20 fr.; cartonné. 22 fr.

Généralités. Causes de viciation de l'atmosphère des ateliers. Dispositions communes à toutes les industries. Production de la force. Graissage. Transmissions. Appareils de levage, *Industries diverses.* Mines. Métallurgie du fer. Ateliers de construction. Métaux autres que le fer. Industrie des matériaux extraits des carrières. Industries céramiques. Le verre. Le bois. Le papier. *Législation.* Mesures générales de protection et de salubrité. Mesures spéciales à certaines industries; à certaines catégories de personnes. Réparation. Algérie. *Table alphabétique des matières* (650 rubriques).

La sécurité du travail dans l'industrie. Moyens préventifs contre les accidents d'usines et d'ateliers, par Paul RAZOUS, ingénieur civil, ancien inspecteur départemental du travail dans l'industrie. In-8° 17 × 25 de 378 pages avec 222 figures.. 12 fr. 50

Réglementation relative à la sécurité dans les établissements industriels (Décrets des 30 avril 1880, 29 juin 1886, 10 mars 1894). Moteurs, passages, escaliers, excavations, monte-charges. Organes dangereux des machines; maniement des courroies. Engins tournant à grande vitesse. Mise en marche et arrêt des machines. Nettoyage, graissage, réparations. Précautions contre l'incendie. Appareils électriques. Vêtements des ouvriers. Précautions contre les brûlures. Explosions. Milieux délétères. Asphyxie. Sécurité des enfants et des femmes. Vœux formulés par les inspecteurs du travail. *Premiers soins à donner en cas d'accident.*

Comptes faits. Table des produits des nombres variant de centième en centième depuis 0,1 jusqu'à 10 unités, par les nombres variant de dixième en dixième depuis 0,1 jusqu'à 10 unités, ou, en négligeant la virgule : Table des produits des nombres entiers de 1 à 1.000 par des nombres entiers de 1 à 100, par CLAUDEL. In-8° 14 × 23 de XXVIII-203 pages................ 5 fr.

Barême Richard, par RICHARD, comptable. In-4° oblong 19 × 25 de 224 pages. Cartonné.. 8 fr. 50

91 tableaux donnant, pour un nombre d'heures et de demi-heures quelconque jusqu'à 319 heures 1/2, le salaire à payer pour un tarif horaire compris entre 0,10 à 1 franc.

Étude de l'incendie, par F. MICHOTTE, ingénieur E. C. P., président du Comité technique contre l'incendie. In-8° 16 × 25 de 570 pages avec 135 gravures. Broché, 15 fr.; cartonné.. 16 fr. 50

Introduction. *Le Feu.* Ses effets. Moyens d'extinction. Causes d'incendie. *Défense contre le feu.* Matériaux résistant au feu. Moyens préventifs. Matériel d'extinction. Extinction. *Applications.* La ville. La campagne. Théâtres. Usines. Navigation maritime ; aérienne ; chemins de fer; mines. *Usines classées.* Précaution. Législation. Tables analytique et alphabétique des matières (plus de 500 rubriques : noms et mots).

TOURS, IMPRIMERIE DESLIS FRÈRES.

TOURS, IMPRIMERIE DESLIS FRÈRES.



